

POTENCIAL DE BIOGÁS

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BIOMASA
DISPONIBLES EN CHILE PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

POTENCIAL DE BIOGÁS

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BIOMASA
DISPONIBLES EN CHILE PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BIOMASA DISPONIBLES EN CHILE PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

Publicado por:

Proyecto Energías Renovables
No Convencionales en Chile (CNE/GTZ)

Comisión Nacional de Energía (CNE)

Teatinos 120, Piso 7, Santiago, Chile
www.cne.cl

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Federico Froebel 1776, Providencia, Santiago, Chile
www.gtz.de

Coordinación:

Christian Santana, CNE
Trudy Könemund, GTZ

Autores:

Rolando Chamy
Elba Vivanco
Escuela de Ingeniería Bioquímica, PUCV

Consultores:

Ecofys GmbH, Köln, Alemania
www.ecofys.de

Diseño y diagramación:
Hernán Romero

Impresión y encuadernación:
ByB Impresores

ISBN: 978-956-7700-08-0

Santiago de Chile, septiembre 2007

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BIOMASA DISPONIBLES EN CHILE PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

Comisión Nacional de Energía



Cooperación técnica alemana



Cooperación Intergubernamental
Chile - Alemania



Aclaración

Este estudio fue preparado por encargo del proyecto “Energías Renovables No Convencionales en Chile” implementado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Sin perjuicio de ello, las conclusiones, opiniones y recomendaciones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GTZ. De igual forma, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar no constituye en ningún caso una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GTZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.

Resumen ejecutivo

Las energías renovables se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil no se consumen ni se agotan en una escala humana. Para generación eléctrica, estas energías en Chile suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y su grado de participación en el mercado eléctrico. Como Energías Renovables No Convencionales (ERNC) se consideran la pequeña hidráulica, la energía eólica, la solar, la geotérmica, la de los océanos y la derivada de la biomasa, ya sea a partir de su incineración directa o a través de la producción de biogás. En contraste, la energía hidráulica de gran tamaño tiene una participación significativa en la matriz de generación eléctrica del país, por lo cual es considerada una fuente de energía convencional.

El presente estudio tuvo como objetivos la identificación de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile para la generación de biogás con fines energéticos y la estimación del potencial para su aprovechamiento eléctrico y térmico (éste último a través de la cogeneración). De esta manera, se espera aportar una herramienta para el análisis sobre cómo incrementar la participación de las ERNC en la matriz energética de Chile.

El biogás es producido por la fermentación anaeróbica de la biomasa, que se basa en la transformación de la materia orgánica, a través de una serie de reacciones bioquímicas en presencia de microorganismos, en un gas cuyos componentes principales son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2).

Existe una amplia variedad de biomasa que puede ser transformada en biogás, cuyas fuentes de información básica en Chile se encuentra distribuida en diversos organismos públicos y privados. Junto a ello, la mayoría de la materia disponible para biodigestión corresponde a algún tipo de residuo del cual, en muchos casos, no existen estadísticas directas de su magnitud y distribución geográfica y temporal.

Dado lo anterior, una estimación del potencial nacional de producción de biogás, como el que desarrolla este estudio, necesariamente se debe realizar a partir de supuestos y aproximaciones metodológicas basadas en la mejor información con que cuentan los especialistas que realizan el análisis, con lo cual la confiabilidad de los resultados varía según el tipo de residuo de que se trate. Por tal razón, junto a los resultados, el estudio presenta tanto la información como la metodología usada a un nivel de detalle, tal que permita a otros especialistas realizar sus propias estimaciones.

Por otro lado, se ha optado por una metodología conservadora para la estimación de la biomasa residual posible de usar para generar biogás. Dado lo anterior, los resultados

obtenidos probablemente representan una estimación conservadora del potencial nacional de generación de biogás. El principal supuesto usado que refleja este aspecto, es que sólo se consideró en el análisis la biomasa (o residuos) que hoy no tienen un uso productivo, esto es, se ha supuesto que la producción de biogás no es lo suficientemente interesante como para competir con los usos actuales de algunos residuos. A modo de ejemplo, en el caso de la industria vitivinícola sólo se ha considerado en las estimaciones el 19% del orujo total que genera esta industria, debido a que ya existe una empresa que recolecta y procesa el 80% del orujo de este sector agroindustrial.

La metodología utilizada para la determinación del potencial energético del biogás en Chile consta fundamentalmente de los siguientes cinco pasos:

1. La primera etapa consiste en la determinación de los distintos tipos de **biomasa disponibles para la producción de biogás**, así como en la estimación de las cantidades producidas por cada tipo de biomasa. Para ello se utilizaron datos de literatura, así como información de distintos sectores (agricultura, industria, tratamiento de aguas residuales, etc.). Como se señaló en forma previa, para cada tipo de biomasa sólo se consideró la porción que hoy no tiene un uso productivo.
2. A partir de la cantidad de biomasa estimada bajo el punto previo, se determinó el **potencial teórico para la generación de biogás**. Este valor corresponde a la cantidad de biogás que es posible de generar a partir de los tipos de biomasa establecidos anteriormente, sin considerar restricciones asociadas a la viabilidad de su recolección debido al grado de dispersión geográfica que tenga. Para determinar este potencial se utilizaron valores teóricos de la fracción de materia orgánica (M.O.) contenida en la biomasa, así como de la productividad específica de biogás para los distintos tipos de biomasa disponible.
3. Luego se aplicaron restricciones técnicas relativas a la disponibilidad de la biomasa, principalmente relacionadas con la factibilidad de su recolección, con lo que se determinó el **potencial factible de biogás**.
4. Tomando en cuenta aspectos técnicos de la utilización del biogás para la generación de energía, como la eficiencia de generadores y los rendimientos térmicos, se determinó el **potencial energético técnico**, que corresponde a la energía eléctrica y térmica que es técnicamente factible de producir.
5. Por último, se realizó una **evaluación económica** y una estimación de los costos de generación, a partir de lo cual se estimó el potencial implementable.

La biomasa fue subdividida en residual húmeda y seca. Como biomasa húmeda se clasificaron los materiales que contienen menos de 10% de sustancia seca, entre los que se encuentran todos los residuos provenientes del tratamiento de las aguas residuales

domésticas e industriales, y el estiércol de porcino y vacuno. En relación a la biomasa seca, si bien es cierto pueden provenir del mismo origen, se clasificaron según el sector productivo que la emite. Para efectos de este estudio la biomasa seca corresponde a: residuos forestales de la industria maderera, residuos agroindustriales de la producción de alimentos, desechos de plantaciones, desechos de poda y maleza, beneficio de ganado (residuos de matadero), aceites y grasas, lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas (industriales y domésticas), residuos sólidos urbanos y estiércol avícola.

Para el cálculo del potencial teórico de biogás, se utilizaron factores de conversión estimados a partir de datos bibliográficos y de análisis de laboratorio realizados con anterioridad por los autores del estudio.

Por su parte, para estimar el potencial factible se evaluó la disponibilidad de los distintos tipos de biomasa, clasificándolas en dispersas (D), agrupadas (A) o concentradas (C), y se estableció un rango entre el valor mínimo y el máximo esperable para la disponibilidad de la biomasa (en % del total). Estos valores fueron utilizados para determinar el potencial energético mínimo y máximo del biogás generado a través de los diferentes tipos de biomasa. De esta forma fue posible estimar los valores mínimos y máximos de biogás disponible para la biomasa dispersa (58 y 110 millones $\text{m}^3/\text{año}$), agrupada (170 y 287 millones $\text{m}^3/\text{año}$) y concentrada (720 y 889 millones $\text{m}^3/\text{año}$).

La cantidad de energía que se puede recuperar del biogás, se estimó considerando los rendimientos eléctricos de equipos típicos de generación que utilizan biogás como combustible, así como también los rendimientos térmicos de equipos de recuperación de calor en sistemas de cogeneración. En los cálculos se consideró el poder calorífico del metano en $8.569 \text{ kcal}/\text{m}^3$.

Posteriormente se estimaron los costos de generación para los siguientes casos:

- Residuos de la industria cervecera: Se tomaron los casos de las Regiones Metropolitana y de la Araucanía, que son las únicas que tienen cantidades apreciables de estos residuos.
- Estiércol avícola: Siendo este el principal potencial identificado, se realizó un cálculo para los tamaños de planta que existen en Chile.
- Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas: Se tomaron como casos distintos tamaños de plantas que no poseen digestión anaerobia.
- Industria procesadora de frutas y verduras: En este caso se tomaron 4 tamaños de planta diferentes, representativos de este tipo de industria.

En los análisis realizados para los cuatro ejemplos mencionados, se estimó un horizonte de evaluación de 15 años con una tasa de descuento del 10%.

Adicionalmente, debido que para cumplir con la reglamentación ambiental vigente, determinadas industrias deberán incorporar sistemas de tratamiento de sus residuos, se realizó una estimación de los costos de generación por kWh considerando solamente la inversión adicional en los equipos de generación, pues se supuso la inversión en los sistemas de digestión como un costo hundido. Dicho supuesto se basa en que la alternativa de digestión anaeróbica debería ser más conveniente que otras alternativas (como la degradación aeróbica con disposición de lodos) para el tratamiento de residuos con alta carga orgánica. El objetivo de este análisis fue mostrar que, en caso de implementar sistemas de tratamiento con digestión anaeróbica, la inversión adicional en equipos de generación para la utilización del biogás representa una alternativa económicamente interesante frente a la simple quema del biogás en antorcha.

De los datos consignados, se concluye que es factible la transformación de biomasa en metano como fuente de energía renovable no convencional. El potencial factible estimado fue de aproximadamente 400 MW de capacidad instalable para generación eléctrica, lo que significa alrededor del 3,5% de la capacidad actual del país. Además en sistemas de cogeneración sería posible obtener energía térmica que, de ser utilizada, aumentaría en alrededor de un 100% la energía aprovechada. De este potencial, los mayores valores corresponden a tipos de biomasa que están concentradas, con lo cual se facilita su utilización. Como ya se mencionó, estas cifras probablemente son una estimación conservadora del potencial de generación de biogás en Chile, debido a las restricciones aplicadas en este estudio a la disponibilidad de biomasa.

Un resultado interesante de destacar es que de los 400 MW para generación eléctrica, existe un potencial directo de aproximadamente 150 MW que corresponde a la producción de metano a través de reactores ya existentes de riles, lodos y purines y de vertederos con captación de biogás.

La evaluación económica arrojó un amplio rango en los costos de generación estimados (entre 25 y 350 US\$/MWh), destacándose que existe un número interesante de alternativas evaluadas que se encuentran por debajo de los costos actuales de desarrollo del sector generación eléctrica en Chile. Además, en las empresas que deben instalar plantas de tratamiento de residuos para cumplir con la normativa ambiental, el costo de generación disminuye un 30% en promedio en relación al caso en donde no se requiere a priori el tratamiento y disposición del residuo.

Los resultados también indican que la utilización de la energía térmica cogenerada a partir de biogás, sea para autoconsumo o para su venta a otras industrias, representa un ahorro de combustible, lo que se puede traducir en una reducción de costos, así como en una mayor independencia energética de las industrias involucradas.

En la Tabla 45 de la sección 4.2 se muestran los principales resultados del análisis de potenciales incorporándose, además, todos los valores de los factores considerados para la producción de biogás de los distintos tipos de biomasa analizados en este estudio.

Índice

1. Introducción	15
2. Descripción de las distintas biomásas disponibles para la obtención de biogás	19
2.1 Biomásas disponibles para la obtención de biogás:	
Biomasa residual seca	20
2.1.1 Biomasa forestal	20
2.1.2 Biomasa proveniente de la agroindustria	21
2.1.2.1 Fermentación alcohólica	21
2.1.2.2 Industria láctea	24
2.1.2.3 Procesamiento de frutas y verduras	25
2.1.2.4 Bebidas de infusión	26
2.1.3 Desechos de cultivos de temporada	27
2.1.4 Desechos de poda y maleza generados en las ciudades	28
2.1.5 Residuos de beneficio de ganado (residuos de mataderos)	29
2.1.6 Grasas y aceites	31
2.1.7 Lodos generados en plantas de tratamiento de aguas (PTA)	31
2.1.8 Residuos sólidos urbanos (RSU)	33
2.1.9 Estiércol avícola	35
2.2 Biomásas disponibles para la obtención de biogás:	
Biomasa residual húmeda	37
2.2.1 Residuo industrial líquido (RIL)	37
2.2.2 Aguas residuales domésticas	38
2.2.3 Estiércol de vacuno	39
2.2.4 Estiércol de porcino	42
3. Potencial teórico de las distintas biomásas disponibles para la obtención de biogás	45
3.1 Potencial teórico de biomasa residual seca	46
3.1.1. Potencial de biogás forestal	46
3.1.2. Potencial de biogás de la agroindustria	46
3.1.2.1 Potencial de biogás de la fermentación alcohólica	46
3.1.2.2 Potencial de biogás de la industria de lácteos	47
3.1.2.3 Potencial de biogás de la industria conservera de frutas y verduras	47
3.1.2.4 Potencial de biogás a partir de bebidas de infusión	48
3.1.3 Potencial de biogás a partir de principales cultivos de temporada	48
3.1.4 Potencial de biogás a partir de desechos de poda y desmalezado de parques y jardines municipales	49

3.1.5	Potencial de biogás a partir de los residuos de matadero	49
3.1.6	Potencial de biogás a partir de los residuos industriales de grasas y aceites	49
3.1.7	Potencial de biogás a partir de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas (PTA)	50
3.1.8	Potencial de biogás a partir de los residuos sólidos urbanos (RSU)	51
3.1.9	Potencial de biogás a partir de estiércol avícola	51
3.2	Potencial teórico de biogás de biomasa residual húmeda	52
3.2.1	Potencial teórico de biogás de residuo industrial líquido (RIL)	52
3.2.2	Potencial teórico de biogás de aguas residuales urbanas (ARU)	52
3.2.3	Potencial de biogás a partir de estiércol de vacuno	53
3.2.4	Potencial de biogás a partir de estiércol de porcino	54
3.3	Disponibilidad de la biomasa y potencial de biogás en función de su facilidad de recolección y procesamiento	54
4.	Estimación de la generación eléctrica a partir de biogás generado por distintas biomasa disponibles	61
4.1	Tecnología de cogeneración disponible a aplicar en Chile	61
4.1.1	Aspectos generales de cogeneración	61
4.1.2	Procedimiento de cálculo de la energía cogenerada a partir de biogás	63
4.2	Potencial energético a partir de biomasa residual seca y húmeda	65
5.	Evaluación económica preliminar para proyectos de generación eléctrica a partir de biogás generado por distintas biomasa disponibles	69
6.	Conclusiones	75
	Glosario	77

Anexos (en CD-ROM adjunto)

- Anexo 1: Universo total de vertederos a lo largo de Chile
- Anexo 2: Vertederos con captación de biogás
- Anexo 3: Registro de las empresas autorizadas por el SISS para realizar el tratamiento de RIL
- Anexo 4: Determinación del potencial energético a partir de biomasa residual seca
- Anexo 5: Determinación del potencial energético a partir de biomasa residual húmeda
- Anexo 6: Ejemplo de cálculo de evaluación económica: Caso residuos de la industria cervecera, Área Metropolitana
- Anexo 7: Nomenclatura y listado de los sistemas de tratamiento de aguas servidas a nivel nacional
- Anexo 8: Listado de la clasificación industrial internacional uniforme, CIIU
- Anexo 9: Estimación de la generación de biogás a partir de residuos sólidos urbanos

1. Introducción

Las energías renovables no convencionales, dependiendo de su forma de aprovechamiento, generan impactos ambientales significativamente inferiores a las fuentes convencionales de energía, y contribuyen a los objetivos de seguridad de suministro y sustentabilidad ambiental de las políticas energéticas. La magnitud de dicha contribución y la viabilidad económica de su implantación, depende de las particularidades en cada país, de elementos tales como el potencial explotable de los recursos renovables, su localización geográfica y las características de los mercados energéticos en los cuales competirán.

Las energías renovables se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento de energía útil no se consumen ni se agotan en una escala humana. Entre estas fuentes de energías están: la hidráulica, la solar, la eólica y la de los océanos. Además, dependiendo de su forma de explotación, también son catalogadas como renovables la energía proveniente de la biomasa y la energía geotérmica.

Para generación eléctrica, estas energías en Chile suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y su grado de participación en el mercado eléctrico. Como Energías Renovables No Convencionales (ERNC) se consideran la pequeña hidráulica, la energía eólica, la solar, la geotérmica, la de los océanos y la derivada de la biomasa, ya sea a partir de su incineración directa o a través de la producción de biogás. En contraste, la energía hidráulica de gran tamaño tiene una significativa participación en la matriz de generación eléctrica del país, por lo cual es considerada una fuente de energía convencional. En la Tabla 1 se muestran los distintos tipos de energías renovables no convencionales con la tecnología asociada.

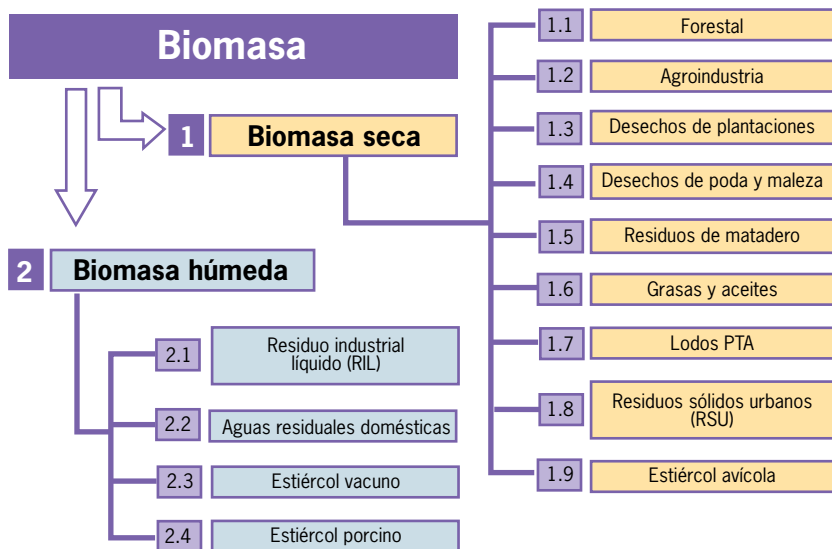
Tabla 1: Tipos de energía considerados como renovables no convencionales

Categoría	Tipo de tecnología
Biomasa – Biogás	Electricidad y calor a partir de gas derivado de la biomasa biometanizada, por ejemplo de rellenos sanitarios o plantas anaerobias de tratamiento de residuos
Biomasa - Combustión directa	Electricidad y calor a partir de la incineración de residuos de biomasa, como madera, residuos agrícolas, RSU y otros
Geotérmica	Electricidad y/o calor a partir de energía geotérmica
Hidráulica menor	Centrales hidroeléctricas pequeñas
Solar fotovoltaica	Generación de energía eléctrica con celdas solares fotovoltaicas
Solar térmica	Electricidad o calor mediante energía solar térmica
De los océanos	Electricidad a partir de la energía de las olas, mareas o corrientes marinas
Eólica	Electricidad generada por turbinas eólicas (aerogeneradores)

El biogás producido puede ser capturado y usado como combustible. De esta forma, la digestión anaeróbica como método de tratamiento de residuos, permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante y, al mismo tiempo, producir energía. El que uno de estos dos objetivos predomine sobre el otro depende de las necesidades de descontaminación del medio ambiente y de la naturaleza y origen del residuo.

La Figura 2 muestra un esquema general con la clasificación de los distintos tipos de biomasa potencialmente disponibles en Chile. La biomasa puede ser subdividida en residual húmeda y seca. Como biomasa húmeda en este informe son clasificados los materiales que contienen menos de 10% de sustancia seca. Dentro de la biomasa residual húmeda se encuentran todos los residuos provenientes del tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales y del estiércol de porcino y vacuno. En relación a la biomasa seca, si bien es cierto pueden provenir del mismo origen, se clasifican según el sector productivo que la emite. La biomasa seca incluye: residuos forestales de la industria maderera, residuos agroindustriales de la producción de alimentos, desechos de plantaciones, desechos de poda y maleza, beneficio de ganado (residuos de matadero), aceites y grasas, lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas (industriales y domésticas), residuos sólidos urbanos y estiércol avícola.

Figura 2: Clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles

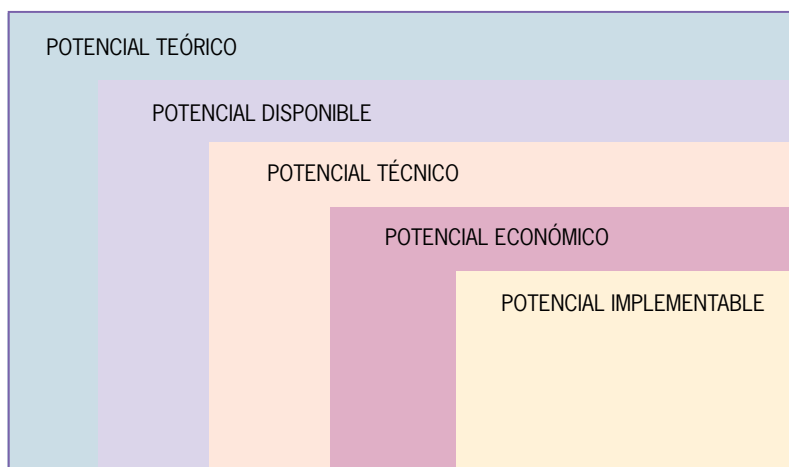


La clasificación mostrada en la Figura 2 será utilizada para la descripción de todos los tipos de biomasa y para el cálculo de los potenciales en los siguientes capítulos del presente documento.

2. Descripción de los potenciales para la obtención de biogás a partir de biomasa

Es común encontrar en la literatura diversas definiciones sobre el concepto de potencial energético de la biomasa. En este texto los potenciales se clasificarán según la probabilidad de su utilización de acuerdo a lo mostrado en la Figura 3. El **potencial teórico** está determinado por la cantidad total de biomasa que es producida o generada en forma de residuos sin considerar restricciones técnicas o económicas. El **potencial disponible** corresponde a la cantidad de biogás que es posible de producir a partir de la biomasa efectivamente disponibles, aplicando restricciones a la capacidad de recolección, uso alternativo, etc. El **potencial técnico** corresponde a la energía eléctrica y térmica que es posible de generarse a partir del biogás producido, aplicando restricciones tecnológicas a la conversión, fundamentalmente en términos de eficiencias eléctrica y térmica de los equipos de cogeneración. El **potencial económico** está determinado por la cantidad de energía que puede ser producida en condiciones de rentabilidad económica. Corresponde, entonces, a la fracción del potencial técnico que es factible económicamente de ser producido. Este potencial depende de numerosos factores, tanto locales y regionales, como específicos de proyecto y sólo puede ser calculado para un lugar con sus condiciones específicas. El **potencial implementable** es aquel que, siendo económicamente factible, es posible de ser implementado, aplicando restricciones respecto del marco legal vigente, logísticas y de otro tipo. Eventualmente, el potencial implementable puede corresponder al potencial económico.

Figura 3: Categorías de potenciales de biomasa
(adaptado de Heck/Hoffmann/Wern, 2004)



2.1 Biomásas para la obtención de biogás: Biomasa residual seca

2.1.1 Biomasa forestal

La generación de energía a partir de materiales leñosos y residuos forestales da la oportunidad de aprovechamiento del bosque, plantaciones forestales, incluyendo el procesamiento de la madera, que genera desechos.

Entre los residuos forestales están los provenientes de los procesos industriales y los provenientes del manejo y de la cosecha del bosque, siendo los primeros aprovechados ya sea con fines energéticos o para la elaboración de productos específicos en los propios sitios de generación o en otras industrias.

Los volúmenes de desperdicios biomásicos representados en residuos de la cosecha constituyen un combustible potencial; sin embargo existe un problema de disposición y manejo dada su dispersión y difícil acceso. Para una planta de generación cuya finalidad sea la obtención de energía a partir de madera, el abastecimiento de materia prima requiere de una logística operacional. La biomasa debe ser cosechada en un gran número de sitios con diversas características y variables distancias de transporte. Las entregas deben ser confiables y oportunas, los requerimientos de calidad deben ser conocidos, y los costos deben ser lo suficientemente bajos para hacer de este tipo de biomasa un combustible económicamente competitivo.

La fuente de material energético puede también estar conformada por una sucesión vegetal o bosque secundario, por cultivos energéticos, por desechos que incluyen los residuos de cosecha, entre otros. Lo anterior sumado a la disponibilidad de terrenos, con capacidad y producción según la meta de generación y las diferentes propiedades térmicas son puntos a considerar en los criterios de evaluación de cada fuente de biomasa.

La ventaja de la biomasa que crece es el mantenimiento de un equilibrio entre la liberación de CO₂ y la fijación fotosintética de carbono. En la Tabla 2 se presenta la plantación de especies forestales en Chile desde el 2000 al 2004.

Sin embargo, la obtención del recurso energético a partir de biomasa forestal para la producción de biogás es de alto costo de producción, no sólo por los problemas mencionados anteriormente sino que también por su baja conversión en comparación a otros cultivos energéticos.

Por otro lado, los contenidos de lignina en estos tipos de residuos impiden una buena metanización de estos residuos. De hecho es reconocidamente más conveniente la recuperación térmica de energía a partir de estos residuos que su biotransformación.

2.1.2 Biomasa proveniente de la agroindustria

Dentro de la biomasa de la agroindustria se encuentran los residuos generados por las industrias que realizan procesos industriales a partir de productos generados del agro. En este informe se han tomado como industria relevante la concerniente a los procesos de fermentación alcohólica, industria láctea, procesamiento de frutas y vegetales de procesos tales como deshidratación, congelación, concentración y elaboración de pulpas y concentrados. Otra de la biomasa que se encuentra dentro de esta clasificación son los residuos del proceso de las bebidas de infusión tales como té y café. A continuación se describen las biomásas que son representativas de la agroindustria.

Tabla 2: Plantaciones de especies forestales

Plantaciones forestales industriales por especie (hectáreas)					
Especie / Año	2000	2001	2002	2003	2004
Pino radiata	1.474.773	1.497.340	1.436.586	1.446.414	1.408.430
Eucalipto	358.616	376.786	408.630	436.706	489.603
Atriplex	52.894	53.682	56.196	57.615	58.501
Tamarugo/Algarrobo	24.165	24.263	24.422	24.539	25.254
Pino oregón	14.286	14.184	15.212	15.627	16.459
Álamo	4.151	4.077	4.107	5.084	6.008
Nothofagus sp			741	934	1.176
Otras especies	60.216	67.071	51.686	59.511	73.216
Total	1.989.101	2.037.403	1.997.580	2.046.430	2.078.647

Fuente: Elaborado por ODEPA con información de INFOR - CORFO, CONAF y empresas.

Nota: Cifras actualizadas Boletín Estadístico N° 95, INFOR

2.1.2.1 Fermentación alcohólica

Los principales productos provenientes de los procesos de fermentación y/o destilación de frutas y cereales para la elaboración de bebidas o destilados de fermentación alcohólica que se producen en Chile, corresponden principalmente a vino, pisco y cerveza.

En Chile, el principal producto de fermentación es el vino. Actualmente hay 74.500 hectáreas de uva vinera plantadas. La producción nacional de vino es de 427 millones de litros al año 2005, y las características varían según la región del país. La superficie de viñedos es de 116.000 ha y todas ellas se encuentran en zona de riego.

En relación a la producción de pisco en el valle del Río Limarí, ubicado en la Región de Coquimbo, se produce el 92% de todo el pisco chileno, en la que existen cerca de 9.000 hectáreas de vides de este tipo. Es una de las áreas vitivinícolas emergentes de Chile. La nueva viticultura, proyectada a elaborar vinos jóvenes de diferente corte, muestra resultados interesantes en toda la zona con un total de 872 hectáreas y una producción global de 18.615 hectólitros. La mayor parte de la materia orgánica residual es vinaza y será incluida en la sección correspondiente a biomasa residual húmeda.

Los distintos tipos de desechos sólidos se muestran en la Tabla 3, además se muestra la utilización alternativa a la energética que pueden tener estos residuos en Chile. Actualmente sólo se extrae el aceite de pepa de uva y ácido tartárico de los escobajos y borras, lo que igualmente genera un residuo convertible a biogás y concentrado. La mayor parte de estos residuos sólidos generados por la industria vitivinícola a nivel nacional son recolectados por Industrias Vinicas S.A. Esta empresa es productora de subproductos tales como tartratos, ácido tartárico, crémor tártaro y alcohol. Hasta el año 2004 contaba con una sola planta procesadora en Curico. Recientemente la empresa construyó una segunda planta ubicada en la comuna de Teno. La empresa recoge todos los residuos sin costo para las viñas, por tanto si bien este residuo no constituye una carga económica para las empresas tampoco significa un ingreso adicional. En la actualidad Industrias Vinicas recepciona más del 80% de los residuos sólidos generados en la industria del vino para la obtención de subproductos. El residuo sólido generado por ello es utilizado como combustible en caldera, existiendo un potencial para su transformación a metano.

Tabla 3: Desechos de fermentación alcohólica y posibles usos alternativos al energético

Residuos	Uso alternativo
Escobajo de uva	Extracción de taninos, ácidos o proteínas
Hollejos de uva	Ensilaje y producción de vino por levaduras, apto para producción de alcohol
Pepa de uva	- Producción de aceite con alto contenido linoleico y bajo en colesterol - Extracción de taninos
Vinazas y orujos	- Sustrato para obtención de proteína unicelular - Recuperación de tartrato - Alimentación animal (máximo 10 a 12% en mezclas) - Calcinación para carbón absorbente - Extracción de pigmentos rojos - Uso como fertilizante en condiciones controladas
Levadura cervecera	- Obtención de concentrado de proteína hidrolizada para uso en alimento animal o para la obtención de vitamina B2 - Uso en alimentación humana previa filtración con carbón activo
Sólidos de la fabricación de cerveza	- Abono, compost - Recuperación de alcohol combustible - Alimento animal
Orojo de cebada	Fuente de proteína de buena digestibilidad para uso en alimentación animal

El porcentaje promedio de generación de residuos sólidos de producción de vino es aproximadamente un 7,5% de la materia prima (uva) utilizada. En la Tabla 4 se aprecia la generación de residuos sólidos a partir del proceso de elaboración de vinos y licores destilados a partir de uva, clasificados por región. El escobajo no se considera debido a su difícil cuantificación, éste se descarta en fases muy previas al acondicionamiento de la uva. Además se diferencia la materia orgánica total generada de la que es factible disponer para su transformación energética (materia orgánica disponible). Esta última corresponde

a un 19% del total del residuo generado asumiendo que la diferencia es procesada por la empresa Industrias Vinicas para la producción fundamentalmente de ácido tartárico. Esta empresa también genera un residuo que es considerado como proveniente de la industria procesadora de residuos de la industria vitivinícola (ver Tabla 27).

Tabla 4: Generación de residuos sólidos a partir de la producción de vinos y licores destilados de uva

Región	Producción vino m³/año	Orujo ton/año	Materia orgánica disponible ton/año
RM	74.364	11.139	2.116
IV	6.813	1.021	194
V	15.467	2.317	440
VI	71.098	10.650	2.023
VII	251.971	37.743	7.171
VIII	7.079	1.060	201
X	208	31	6
Total	427.000	63.960	12.152

En relación a la fabricación de cerveza, en Chile su consumo es de 27 litros per cápita, y el 90% de la producción de cerveza es elaborada por Cervecería CCU Chile. El otro 10% es producido por Cervecería Chile en su planta de Santiago. Los residuos sólidos más importantes son los orujos cerveceros, la levadura y las tierras filtrantes. La tasa de generación de residuos sólidos es de 16,38 kg de residuos sólidos por HL de cerveza producida.

CCU posee tres plantas en Chile, ubicadas en Santiago, Antofagasta y Temuco para una producción total de 4.000.000 HL. En Antofagasta se diluye cerveza concentrada producida en Santiago, por lo que no produce residuos sólidos. La planta de CCU ubicada en la comuna de Quilicura en la Región Metropolitana (Cervecería Santiago) produce 2.800.000 HL de cerveza al año, generándose anualmente 41.000 ton de orujo, desecho que es vendido a ganaderos del sector a \$9/kg. Conforme a su composición, este desecho tiene un importante valor nutritivo y por ello, tradicionalmente se le considera como un sub-producto del proceso siendo utilizado como alimento animal. Sin embargo, la disposición de este desecho cervecero dependerá directamente de la zona geográfica en que éste material se genere. Así en territorios donde la actividad ganadera sea reducida, el orujo de cebada se transforma en un residuo contaminante (Chamy *et al.*, 2003).

Como ya se indicó, el proceso de elaboración de cerveza además genera como residuo sólido una importante cantidad de levadura. En el año 2004 la levadura generada alcanzó 1.600 ton. Una cuarta parte de la levadura que se obtiene se reutiliza en sucesivos procesos de elaboración y el resto es vendido como suplemento alimenticio animal por su alto contenido proteico y vitamínico a \$1/kg.

En la Tabla 5 se muestra la generación de residuos sólidos de la industria de cerveza. En este caso se considera conservadoramente que la materia orgánica disponible es un 80% del total, la diferencia corresponde a pérdidas en el proceso y usos alternativos de mayor rentabilidad. Se considera una humedad del 21%.

Tabla 5: Generación de residuos sólidos de la industria cervecera

Región	Producción cerveza m ³ /año	RIS ton/año	Materia orgánica disponible ton/año
RM	320.000	11.405	9.124
IX	120.000	4.277	3.422
Total	440.000	15.682	12.546

2.1.2.2 Industria láctea

Los desechos sólidos provenientes de la industria láctea son principalmente los descartes de cortes de quesos y granos de cuajada perdidos por derrame. En la Figura 4 se muestra la distribución porcentual según producto de la industria láctea durante el año 2004. En la Tabla 6 se presenta la generación de residuos sólidos generados por año en la industria láctea, distribuido por región. En este caso se asume una tasa de 11% de residuo no recuperable del proceso en condiciones adecuadas para su biometanización.

Figura 4:

Distribución porcentual según producto de la industria láctea durante el 2004

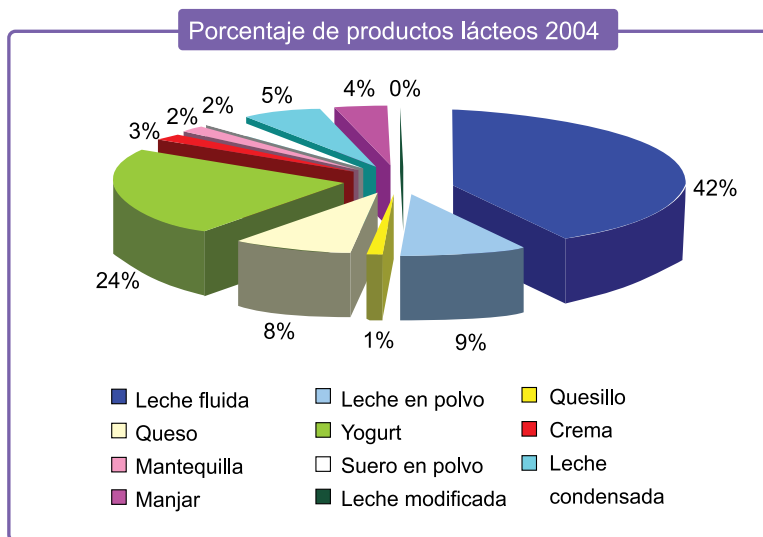


Tabla 6: Generación anual de residuos sólidos en la industria láctea

Región	Leche producida m ³ /año	Residuos sólidos ton/año	Materia orgánica disponible ton/año
RM	263.827	2.108	1.897
VIII	66.447	1.689	1.520
IX	132.428	2.967	2.670
X	232.288	1.192	1.073
Total	694.990	7.956	7.160

Fuente: Adaptado de INTEC CHILE - CORFO

2.1.2.3 Procesamiento de frutas y verduras

Los desechos de frutas y verduras en Chile son generalmente utilizados como subproductos para la elaboración de ensilaje forrajero. También en el caso de los residuos con alto contenido lignocelulósico como cáscaras, corontas, etc. pueden ser utilizados como combustibles por medio del peletizado, briquetado, extrusión y compresión por rodillos o bien, ser utilizados como abono por medio del compostaje. Los carozos pueden ser utilizados para producir carbón activo o abono por medio de compostaje.

En la Tabla 7 se muestra la generación de sólidos de restos de frutas y verduras según rubro clasificado por CIIU, correspondientes al año 2004, alcanzando un valor total de 876.954 toneladas. La Tabla 8 resume por regiones los datos consignados en la Tabla 7, indicándose la materia orgánica que es factible de metanizar. Se asumió que esta corresponde a un 17 % del total tomando en consideración los porcentajes de uso que se generan en otros países y el porcentaje de humedad del residuo.

Tabla 7: Generación de residuos sólidos anuales en el procesamiento de frutas y verduras

Sólidos (ton/año) Región	Conservas de frutas y verduras	Molinera	Remolacheros	Productos alimenticios	Tabaco
RM	225.134	6.169		5.732	
IV	18.033			1	
V	61.878			3.915	72
VI	190.861			6.720	1
VII	208.413			10.739	
VIII	93.350		39.660	267	
IX	1.852			83	
X	2.279	12		1.783	
Total	801.800	6.181	39.660	29.240	73

Fuente: INTEC CHILE – CORFO, 2004

Tabla 8: Generación de residuos sólidos y biomasa disponible para metanizar a partir de restos de frutas y verduras

Región	Residuos sólidos ton/año	Materia orgánica disponible ton/año
RM	237.035	34.536
IV	18.033	2.627
V	65.865	9.597
VI	197.581	28.788
VII	219.152	31.930
VIII	133.277	19.418
IX	1.935	282
X	4.074	594
Total	876.952	127.772

2.1.2.4 Bebidas de infusión

En Chile existe una producción importante de café instantáneo comercial. El extracto del café está constituido por la parte soluble del grano tostado. Como se sabe, el café no posee gran valor nutricional. Su consumo se debe principalmente al placer y la satisfacción que produce al ingerirlo, por lo que es evaluado según los efectos que estimula su sabor. El gusto que este entrega es una compleja sensación relacionada con la textura, contenido de aceite, acidez y particularmente con la cantidad y composición de los compuestos volátiles del sabor del café. El sabor básico del café está dado por diversos compuestos solubles no volátiles, en conjunto con pequeñas cantidades (partes por millón) de constituyentes aromáticos volátiles. En Chile existen dos grandes productores de bebidas infusionales, Nestle y Corpora Tres Montes. La tasa de generación de residuos sólidos por kilogramo de producto es de 18,5 kg, 6,33 kg y 2,83 kg para té, café y sucedáneo de café respectivamente. En la Tabla 9 se muestran los residuos sólidos generados a partir de este producto, considerando que la producción nacional de té, café y sucedáneo es aproximadamente de 2.400, 5.136 y 1.800 ton/año respectivamente. La totalidad de los residuos se genera en las Regiones de Valparaíso y Lib. Bdo. O'Higgins. Se asume que la biomasa disponible corresponde a un 10% de la materia sólida, tomando en consideración que el residuo tiene un 90% de humedad.

Tabla 9: Generación de residuos sólidos a partir de la producción de café instantáneo, té y sucedáneo

Residuos sólidos ton/año	Materia orgánica disponible ton/año
73.116	7.312

Fuente: ODEPA

2.1.3 Desechos de cultivos de temporada

Los desechos de plantaciones tales como trigo, maíz, papa, raps y remolacha en Chile son utilizados generalmente como subproductos en alimentación animal. En la producción de azúcar a partir de remolacha, la generación de melaza como residuo se utiliza como materia prima para la elaboración de levadura de panificación.

La Tabla 10 muestra una estimación de los principales desechos de plantaciones generados por la agricultura.

Tabla 10: Principales residuos de cultivos de temporada generados en la temporada 2003-2004

	Regiones								
Cultivo	III ton/año	IV ton/año	V ton/año	VI ton/año	VII ton/año	VIII ton/año	IX ton/año	X ton/año	TOTAL ton/año
Trigo	1.694	14.000	47.000	128.400	266.838	505.463	726.173	187.578	1.877.146
Avena	-	-	1.134	3.300	4.500	152.550	319.510	53.245	534.239
Cebada	-	-	277	238	3.210	14.868	27.775	9.624	55.992
Centeno	-	-	-	-	-	-	108	-	108
Maíz	1.410	5.840	13.288	846.000	228.000	53.460	910	-	1.148.908
Arroz	-	-	-	14.385	87.020	17.860	-	-	119.265
Poroto	-	754	954	7.200	28.665	9.346	1.368	-	48.287
Lenteja	-	-	-	-	165	560	66	-	791
Garbanzo	-	-	397	890	1.225	365	65	-	2.941
Arveja	-	-	-	139	256	155	466	-	1.015
Chicharo	-	-	-	-	191	3	-	-	193
Papa	2.769	109.620	15.000	65.550	57.190	128.320	302.400	390.784	1.071.633
Maravilla	-	-	105	1.053	1.277	323	-	-	2.758
Raps	-	-	-	-	486	5.883	11.563	4.179	22.111
Remolacha	-	-	-	70.644	832.370	1.038.125	80.464	256.700	2.278.303
Lupino	-	-	-	-	-	435	49.140	2.436	52.011

Para la estimación del potencial de biomasa disponible para biogás se consideraron las plantaciones de las siembras consideradas tradicionales en el país, y cuya recolección es más sencilla, tal como se resume en la Tabla 11. Para generar la tabla se consideraron la superficie sembrada y la humedad promedio de los residuos. Al no existir información disponible en Chile se utilizaron los factores de generación de residuos considerados en Alemania, los que fueron validados por académicos de la Facultad de Agronomía de la PUCV. Estos residuos incluyen fundamentalmente restos de plantas, pajas, descartes de productos, etc.

Tabla 11: Materia orgánica disponible para biogás a partir de los principales residuos de cultivos de temporada generados en la temporada 2003-2004

Tipo materia prima	Residuos sólidos ton /año	% Residuos disponibles	Materia orgánica disponible ton/año
Trigo	1.595.573	30	478.672
Maíz	919.126	20	183.825
Papa	214.327	10	21.433
Raps	17.689	10	1.769
Remolacha	88.419	10	8.842
Total	2.835.134		694.541

2.1.4 Desechos de poda y maleza generados en las ciudades

Los municipios en Chile tienen por función “el aseo y ornato de la comuna” (Ley 18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades (2002), Art. 3), y “la construcción, conservación y administración de las áreas verdes de la comuna” (Art. 25). En el caso de las áreas verdes de carácter intercomunal (grandes parques) la labor la realiza la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo. En el caso de los privados, cuando la ley expresamente lo establece (en su calidad de urbanizador), deben construir y mantener áreas verdes que se destinarán para uso público. Es por ello que con el cumplimiento de los artículos anteriormente mencionados de la Ley 18.695, se crearon empresas que entregan los siguientes servicios:

- Control de malezas y corte de césped, manual o químico,
- Recuperación de zonas erosionadas,
- Construcción de prados, jardinerías de calzadas, bermas, limpieza de autopistas,
- Manejo de arbolado, tala, poda, extracción, tratamientos radiculares,
- Control fitosanitario,
- Fertilización,
- Plantación, extracción y trasplante de grandes ejemplares,
- Manejo de áreas rústicas en caminos, recintos industriales y otros.

Dichas empresas realizan reciclaje por medio de chipeo y compostaje de los residuos vegetales, en recintos propios o del cliente o bien se encargan del transporte de residuos de faena a destino final autorizado.

Otro aspecto importante del aseo y ornato de áreas verdes es la recolección de residuos verdes provenientes de ferias. La información recopilada corresponde a los residuos recolectados por diferentes empresas particulares a las municipalidades, las cuales retiran residuos de arbolado, jardines, poda, desmalezados y ferias. El objetivo de esto es cuantificar la cantidad de residuos orgánicos provenientes del aseo municipal por habitante de zonas urbanizadas (no se incluyen las zonas rurales de cada región).

Para obtener una estimación de la cantidad de residuos verdes urbanos generados por región, se utilizaron datos estadísticos de habitantes correspondientes a las principales zonas urbanizadas de cada región. Al no existir datos sobre la generación de estos residuos se analizó la situación generada en Viña del Mar y se extrapoló a otras ciudades en función del porcentaje de áreas verdes. La Tabla 12 resume la estimación realizada para el cálculo de la materia orgánica disponible para metanizar a partir de los residuos generados de la poda y desmalezado de parques y jardines.

Tabla 12: Estimación de los residuos sólidos generados a partir de la poda y desmalezado de parques y jardines municipales en zonas urbanas

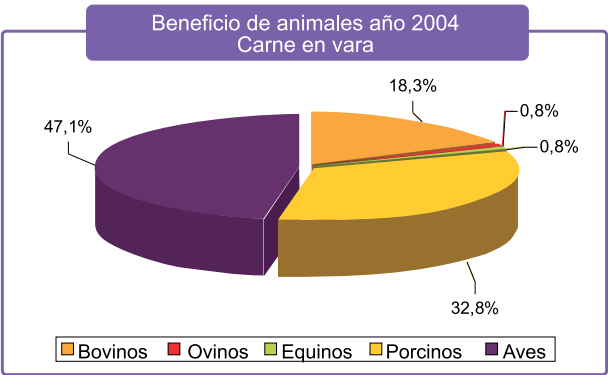
Región	Habitantes	Residuos m ³ /año	Residuo húmedo ton/año
V	1.410.504	2.800	166
RM	5.875.013	11.700	690
VI	4.444.979	8.800	522
VII	500.012	1.000	59
VIII	1.342.352	2.700	158
Total	13.572.860	27.000	1.595

2.1.5 Residuos de beneficio de ganado (residuos de mataderos)

El consumo aparente de carnes en Chile llegó en el 2004 a los 72 kg per cápita alcanzando a más de 1 millón de toneladas, de las cuales un 44,6% es carne de ave, un 35,1% carne de porcinos y 18,4% carne de bovinos, tal como lo muestra la Figura 5. Desde el año 1990 a la fecha el consumo se ha incrementado en 33 kg por habitante, de los cuales 18,7 fueron aportados por las aves, 9,7 por los porcinos y 4,9 por los bovinos; el consumo de otras carnes disminuyó en medio kg por habitante. Para el año 2010 se proyecta en Chile un consumo per cápita aproximado a los 90 kg de carnes por año, de los cuales 28 kg corresponderían a carnes de cerdo. Además, se estima que para fines del 2006 la Región de Los Ríos y Los Lagos duplique la exportación de ganado y que la Región de la Araucanía la cuadriplique.

Aproximadamente entre un 20% y un 50% del peso del animal no es apto para el consumo humano. La mayor parte de los desechos deben manejarse cuidadosamente para prevenir los malos olores y la transmisión de enfermedades. Los residuos generados en el beneficio del ganado, tales como huesos, vísceras, cueros, rumen, pezuñas, astas, pulmones e hígados, son en su mayoría reutilizados como subproductos, tal y como se indica en la Tabla 13. Una fuente esporádica de generación de residuos sólidos en esta categoría, son los animales decomisados (no aptos para el consumo humano), los que deben ser considerados como residuo. La tasa de muerte de ganado se estima en un 4%, mientras que la tasa de muerte de salmones, pollos y cerdos se estima en un 2%.

Figura 5: Producción de carne en vara según especie a nivel nacional durante el 2004



Fuente: ODEPA

Tabla 13: Residuos de matadero de animales utilizados como subproductos

Residuos del beneficio de animales	Usos alternativos
Huesos, astas y pezuñas	Harina, gelatina, aplicación a suelos deficitarios en calcio y fósforo
Vísceras	Cecinas, extracción de heparina como anticoagulante
Pulmones e hígados	Uso en industria farmacológica
Cueros	Curtiembre
Páncreas	Industria farmacéutica (proteasas, tripsina, quimiotripsina)
Bilis	Industria farmacéutica
Sangre (10% proteína animal)	Uso en embutidos, harina de sangre para alimentación humana y animal, separación de proteínas desde el suero
Plumas	Polvo proteico para alimentación animal
Contenido ruminal	Alimentación animal

La Tabla 14 resume los residuos generados a partir de la industria del beneficio del ganado, estimándose, a partir de información recogida directamente en los mataderos, un total de biomasa disponible para biogás de 69.245 toneladas por año.

Tabla 14: Residuos generados a partir de la industria del beneficio de animales (mataderos)

Región	Nº Cabezas por año	Producción ton/año	Materia orgánica ton/año
RM	1.881.242	3.084.990	45.750
IV	38.527	6.030	471
V	134.013	29.614	3.521
VI	2.775.513	266.639	13.024
VII	111.596	7.045	282
VIII	261.542	82.988	2.510
IX	254.082	22.269	2.745
X	410.147	59.957	943
Total	5.866.662	3.559.532	69.245

2.1.6 Grasas y aceites

Las grasas y aceites generados y que potencialmente pueden convertirse a biogás, corresponden principalmente a las provenientes del beneficio de animales y otra fracción menor corresponde a los aceites generados de procesos industriales. No se consideran casinos, restaurantes, supermercados, etc. por la no existencia, en general, de prácticas de separación en origen. En Chile existe en la actualidad una muy reducida producción de aceite comestible a partir de oleaginosas, existiendo fundamentalmente refinación de aceite crudo. Solamente a partir del año 2005 comenzó un interés asociado a la búsqueda de nuevas fuentes de aceite y proteína para la industria salmonera. En la Tabla 15 se estima la generación de grasas y aceites generados por el beneficio de ganado en Chile, el año 2004. La cantidad disponible es más bien baja y no mayor al 5%, dado que las grasas y aceites son actualmente comercializadas a buen precio y su potencial uso energético en el futuro está más bien asociado al biodiesel.

Tabla 15: Generación de residuos sólidos de grasas y aceites animales

Región	Residuos sólidos ton/año	Materia orgánica disponible ton/año
RM	6.632	305
V	30	1
VII	219	10
Total	6.881	316

Fuente: INTEC CHILE - CORFO

2.1.7 Lodos generados en plantas de tratamiento de aguas (PTA)

En los últimos años se ha incrementado en forma notoria el número de plantas de tratamiento de aguas residuales (ver Tabla 16). La cantidad y composición de los lodos varían según las características de las aguas residuales tratadas y sobre todo del sistema de tratamiento empleado como puede observarse en la Tabla 17. La mayor cantidad de PTAS corresponden a lodos activos, tecnología que si bien permite sanear las aguas, genera 0,88 kg de lodo húmedo por m³ de agua tratada.

Actualmente en Chile la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) es quien fiscaliza el cumplimiento de la normativa y según el Informe de Gestión del Sector Sanitario, 2005, el 73,4% de la población recibe cobertura en el tratamiento de las aguas servidas a cargo de empresas sanitarias correspondientes a cada región.

Tabla 16: Proyección de la cobertura nacional de tratamiento de aguas domiciliarias al año 2010

Año	(%) Cobertura nacional
1993	4,1
1998	16,7
2002	42,3
2003	76,6
2006	81,8
2010	98,4

Tabla 17: Proyección de los sistemas de tratamientos de aguas domésticas al año 2009

Tecnología	1998	2002	2009
Lodos activados	0	60	178
Lagunas de estabilización	61	25	0
Lagunas aireadas	9	41	70
Emisarios submarinos	11	22	35
Otros	0	4	5

Como se observa, los sistemas de tratamiento de las aguas servidas más utilizados fueron durante 1998 las lagunas facultativas o de estabilización; sin embargo, se han modificado como lagunas aireadas, mediante la aireación mecánica a objeto de aumentar su capacidad de tratamiento y eficiencia de remoción. Actualmente, los sistemas operan como lodos activos en todas sus modalidades. Las PTAS que generan lodos varían en función al uso que les dan a los mismos. Bajo este punto de vista las plantas se clasificarán en este texto de acuerdo a la siguiente nomenclatura:

- i) BM: La planta metaniza los lodos generados
- ii) RS: La planta dispone los lodos en vertederos autorizados
- iii) OU: La planta realiza otros procesos con los lodos, como compostaje

En la Tabla 18 se muestra una estimación de los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas en función de la clasificación antes descrita.

Tabla 18: Generación de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas domésticas tipo lodos activos

Región	Empresa	Lodo húmedo kg/día	Lodo seco kg/día	Materia orgán. ton/año	Disposición lodo
I	ESSAT	73.083	33.679	7.376	RS
II	ESSAN	81.858	37.723	8.261	RS
III	EMSSAT	43.210	19.913	4.361	RS
IV	ESSCO	91.540	42.185	9.238	RS
V	ESVAL	251.768	116.022	25.409	OU-RS
	COOPAGUA	774	357	78	RS
RM	AGUAS ANDINAS	978.750	451.037	98.777	BM
	AGUAS CORDILLERA	76.225	35.127	7.693	RS
	AGUAS LOS DOMINICOS	2.755	1.270	278	RS
	AGUAS MANQUEHUE	3.133	1.444	316	RS
	SERVICOMUNAL	12.651	5.830	1.277	RS
	SMAPIA MAIPU	108.846	50.160	10.985	RS
VII	AGUAS NUEVO SUR MAULE	111.550	51.406	11.258	RS
VI y VII	ESSBIO	377.644	174.029	38.112	BM-RS-OU
IX	ESSAR	104.635	48.219	10.560	RS
X	ESSAL	94.791	43.682	9.566	RS
	AGUAS DECIMA	23.189	10.686	2.340	RS
XI	AGUAS PATAGONIA AYSÉN	12.204	5.624	1.232	RS
XII	ESMAG	26.206	12.076	2.645	RS
Total		2.474.815	1.140.468	249.762	RS

La empresa sanitaria Aguas Andinas tiene la concesión de las plantas de tratamiento de aguas servidas mas grandes de Chile, El Trebal y La Farfana, ubicadas ambas en la Región Metropolitana, y está pronto a inaugurar Los Nogales (2009). Con ello, Aguas Andinas tratará el 100% de las aguas domésticas generadas por los habitantes de Santiago y las localidades periféricas. Actualmente, Aguas Andinas con sus plantas El Trebal y La Farfana generan aproximadamente 1.000 toneladas de lodo húmedo/día, el cual es digerido en reactores anaerobios para su estabilización. Actualmente, se quema este biogás generado sin reutilizarlo como fuente de energía. Otras plantas con digestores anaerobios son las de Talagante y Concepción. Como se observa en sólo un pequeño porcentaje de las plantas se biometanizan los lodos, pero estos lodos corresponden a más del 50% del total, estando por tanto concentrados.

2.1.8 Residuos sólidos urbanos (RSU)

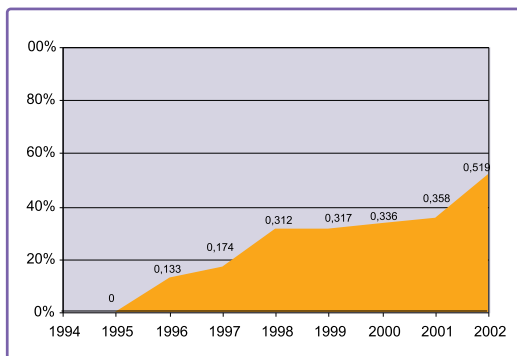
La generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) a nivel nacional se encuentra clasificada por región, dicha información es generada por el Ministerio de Planificación y ésta a su vez, por las Municipalidades que son los organismos encargados de la recolección de los residuos sólidos de origen domiciliario y comercial.

La disposición de los RSU se realiza en rellenos sanitarios o vertederos¹, sin embargo un gran número de ellos no cuentan con la aprobación del Ministerio de Salud o están próximos a colapsar. Muchos vertederos no poseen sistemas de recolección de gas que sean seguros, o la recolección del lixiviado, provocando la contaminación de las napas subterráneas. Además de la situación anterior, también existen los llamados micro basurales o vertederos clandestinos, los cuales no se encuentran en el catastro que realiza cada SERPLAC en la región correspondiente.

La Figura 6 muestra los residuos sólidos domiciliarios con disposición en rellenos sanitarios desde el año 1995 hasta el año 2002.

De acuerdo a las estimaciones realizadas por Bitrán y asociados en el año 2003, basado en relaciones teóricas existentes, se determina que el potencial de generación de biogás de la basura doméstica, depende, entre otras, de variables como: la cantidad de basura depositada periódicamente en los rellenos, la cantidad de basura acumulada en cada uno, las condiciones de la disposición final de los RSU, condiciones generales respecto a variables climáticas, la edad de los vertederos, el porcentaje de la parte orgánica en la basura total y la vida útil esperada o proyectada de cada uno.

1 Los vertederos corresponden sólo a acopios de basura (sin protección sanitaria). Los rellenos sanitarios requieren de mayores instalaciones, como mecanismos de protección de aguas subterráneas, etc, así como de un manejo de los residuos a través del cubrimiento con capas de tierra y compactación.

Figura 6: Residuos sólidos domiciliarios con disposición en rellenos sanitarios

Fuente: INIA

En la actualidad, en Chile la basura domiciliar se deposita en un total de 257 vertederos, botaderos y/o rellenos sanitarios a lo largo de las 13 regiones del país. Estos reciben el 95% de la basura domiciliar generada por los 15,7 millones de chilenos, la que supera los 5 millones de toneladas anuales (CONAMA, 2004). En el anexo 1 se muestra el universo de vertederos a lo largo de Chile.

Aunque los lugares de disposición de basura en Chile son llamados indistintamente vertederos, basurales o rellenos sanitarios, esta clasificación no guarda una relación directa con las características técnicas de las instalaciones en cuanto a su construcción o su operación. En general, los diagnósticos que se han realizado tienden a coincidir en que el tratamiento final que se le da a la basura en la disposición final varía considerablemente entre un lugar de disposición y otro, a lo largo del país y entre zonas rurales y urbanas, concentrando estas últimas aquellos de más moderna tecnología y mayor tamaño.

Actualmente, mas del 70% de la disposición de basura se concentra en rellenos sanitarios modernos de la macrozona centro (Región Metropolitana, de Valparaíso, del Lib. Bdo. O'Higgins, del Maule y del Bío-Bío).

El Ministerio de Salud (MINSAL) permite el funcionamiento de los lugares de disposición final de sólidos urbanos de acuerdo al cumplimiento de la Resolución N° 02444 de 1980. De acuerdo a esta normativa y al "Catastro de las instalaciones de disposición final RSD", realizado por la CONAMA, los rellenos que poseen Autorización Sanitaria (AS) (128 recintos) corresponderían a sitios con proyectos de ingeniería ambiental que han implementado sistemas de control de biogás y líquidos percolados acordes a las buenas prácticas y la legislación vigente para evitar accidentes e incendios y contaminación de las napas. Los sitios de disposición final que cuentan con aprobación por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) (39 recintos) se podrían considerar rellenos sanitarios modernos construidos y operados con tecnología de última generación.

El catastro realizado por la CONAMA contempla 257 instalaciones, de las cuales 129 (50,2%), no cuentan con autorización sanitaria. A través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, 39 están aprobadas y en operación. La mayor cantidad de instalaciones autorizadas se encuentran en las Regiones de Antofagasta y de Los Ríos y de Los Lagos, mientras que las de mayor envergadura se ubican en la Región Metropolitana, y que en conjunto atienden a más de 6 millones de personas.

Por otro lado, aquellos sitios de disposición que no cuentan con autorización sanitaria ni calificación ambiental, se supone que operan como vertederos abiertos o basurales, donde no se realiza cobertura periódica de la basura ni otras medidas de manejo. De acuerdo a Bitrán y asociados, en estos sitios no habría una generación relevante de biogás dándose otros problemas ambientales y sanitarios.

La Tabla 19 muestra la materia orgánica (M.O.) a partir de RSU dispuesta en rellenos sanitarios, subdivididos en aquellos que tienen captación de biogás y aquellos que no lo tienen. Para recuperar el biogás de estos últimos es necesario primero realizar inversiones para su captación y combustión. En el Anexo 2 se muestra los vertederos con captación de biogás.

Tabla 19: Residuos dispuestos en rellenos sanitarios con y sin captación de biogás

Tipo de relleno	Materia orgánica dispuesta ton/año
c/captación de biogás	1.925.856
s/captación de biogás	894.516

2.1.9 Estiércol avícola

El estiércol avícola se considera como residuo seco, a diferencia del estiércol bovino y porcino que al generarse con agua (purines) se clasifica como biomasa húmeda. Para las aves para carne este estiércol se halla mezclado con una cama de aserrín, denominándose GAC, Guano de Ave para Carne.

Durante el año 2003, el aporte al PIB agrícola de la avicultura alcanzó el 5,0%, y las ventas del sector fueron cercanas a los 506 millones de dólares. Las exportaciones de productos avícolas en el año 2003 alcanzaron más de 72 millones de dólares. Estas cantidades han tenido un aumento sostenido en la década, con excepción del año 2002 en el cual se produjo una disminución de las exportaciones debido al foco de influenza aviar que afectó al país. En el 2003, con la recuperación de los mercados y los nuevos acuerdos de comercio, las exportaciones tuvieron un crecimiento de un 66% con respecto al año anterior.

Durante el año 2004 la producción de huevos alcanzó a más de 2.542.400.000 unidades, lo que corresponde aproximadamente a 9.500.000 aves ponedoras.

En la actualidad, la Asociación de Productores Avícolas agrupa a las principales empresas productoras de carne de ave del país, que en conjunto representan más del 97% de la producción nacional de las carnes de pollo y pavo.

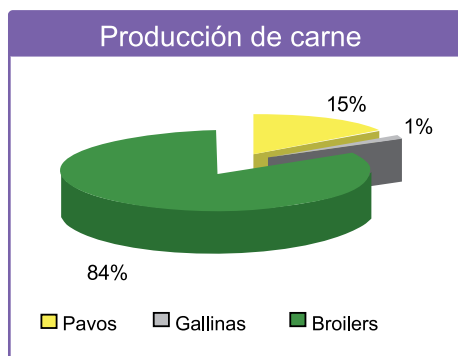
La producción avícola nacional, se concentra en un 97% entre las Regiones de Valparaíso y del Lib. Bdo. O'Higgins: la producción de pollo se da en un 52% en la Región del Lib. Bdo. O'Higgins y 43% en la Región Metropolitana; y la producción de pavo en un 63% en la Región de Valparaíso y 34% en la Región Metropolitana. La producción avícola está concentrada, existiendo sólo 7 empresas que operan en el país. Las dos mayores producen pollo y pavo, a las que se suman 4 productores exclusivos de pollo y uno de pavo.

Agrosuper (Super Pollo) cuenta con más de 1.500 pabellones de crianza, además de dos plantas faenadoras cuya capacidad supera las 90.000 toneladas mensuales, con una capacidad de faenación de 24.000 pollos/hora. Sopraval, también del holding Agrosuper (división pavos) posee 50 planteles de engorda con un total de 500 pabellones y una planta faenadora con capacidad de 45.000 toneladas anuales.

Empresas Ariztía tiene una capacidad mensual de proceso de pollos vivos de más de 13.000 toneladas. Agrícola Don Pollo produce 1.000.000 de aves al mes, lo que corresponde aproximadamente al 8% del mercado nacional, mientras que CODIPRA faena 25.000 pollos al día.

La Figura 7 muestra la distribución por tipo de producto de la producción nacional de carne de aves del año 2004.

Figura 7: Distribución porcentual de la producción nacional de carne de aves, año 2004 (total 535.000 ton)



El estiércol avícola tiene un uso alternativo como mejoradores de suelos y fertilizantes, sin embargo, en muchos casos se requiere una estabilización para evitar malos olores. Una

estabilización anaerobia con posterior uso del producto digerido como mejorador de suelos, hace que la metanización sea una alternativa interesante. La Tabla 20 resume la materia orgánica disponible y la cantidad de ésta, expresada como DQO², que es posible remover para el proceso de metanización a partir del estiércol avícola distribuido por regiones.

Tabla 20: Materia orgánica disponible para metanizar estiércol avícola distribuido por regiones

Región	Aves	Materia orgánica ton/año	DQO removibles ton/año
I	10.527.902	31.584	47.375
V	5.010.929	15.033	22.549
VI	108.378.467	325.135	487.703
VIII	216.490	649	974
RM	80.492.667	241.478	362.217
Ponedoras	9.500.000	131.575	197.362
Pavos	11.000.000	55.000	82.500
Total	214.126.455	800.454	1.200.681

2.2 Biomosas disponibles para la obtención de biogás: Biomasa residual húmeda

2.2.1 Residuo industrial líquido (RIL)

Actualmente, en Chile existe una gran cantidad de empresas que en su proceso productivo generan aguas residuales industriales (Riles) con un importante contenido de materia orgánica. Muchas de estas empresas han optado por implementar sus propios sistemas de tratamiento de Riles, principalmente motivados por los altos cánones que deben cancelar a las empresas sanitarias por la descarga directa a las redes de alcantarillado. Dentro de los sistemas de tratamiento implementados por dichas empresas, muchas contemplan lodos activados que, como cualquier sistema biológico aerobio de tratamiento, genera una importante cantidad de lodos producto del crecimiento de la biomasa microbiana que degrada la materia orgánica presente en el RIL. También existen plantas con tratamiento físico-químico que generan lodos orgánicos pero conteniendo otros compuestos utilizados como coagulantes y/o floculantes. Dichos lodos representan uno de los principales problemas a los que las empresas que cuentan con plantas de tratamiento deben enfrentarse, puesto que al ser residuos orgánicos no estables no es permitida su disposición en lugares no autorizados.

2 La DQO es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica capaz de ser oxidada químicamente, sea ésta biodegradable o no. Representa la cantidad de oxígeno (O₂) necesaria para oxidar completamente la materia orgánica.

En Chile lentamente el sector industrial está adecuando sus practicas para producir en forma limpia, con lo cual toda actividad económica que genere un residuo industrial líquido debe contar con un sistema de tratamiento ya sea físico-químico o biológico. En Chile la gran mayoría de las plantas de tratamiento instaladas en la industria son sistemas físico-químicos, sistemas biológicos aerobios y algunas cuentan con digestores anaerobio como es el caso de Capel, Chiletabacos, CCU, y DSM. Las plantas de tratamiento autorizadas por la SISS para sistemas particulares o en empresas, se listan en el anexo 3. La información de la carga orgánica y de los lodos generados no es de carácter público, sin embargo la SISS facilitó parte de la información disponible en su base de datos sin mencionar las industrias. Además se trabajó con estimaciones realizadas a partir de información obtenida de las empresas sanitarias: De esta forma se estimaron los Riles que pueden ser susceptibles de metanizar en base a los siguientes cuatro grupos:

- a) Riles generados por industrias que poseen plantas de tratamiento y evacuan a cuerpos superficiales o infiltran (información proporcionada por la SISS).
- b) Riles generados por industrias que no tienen tratamiento y evacuan a cuerpos superficiales o infiltran y han informado a la SISS de sus características (información recogida del informe de gestión del sector sanitario editado por la SISS para el año 2004).
- c) Riles generados por industrias que no tienen tratamiento y evacuan a cuerpos superficiales o infiltran y que no han informado a la SISS de sus características. En este caso se estimó a partir del número de empresas que no han informado en relación a las que lo han realizado.
- d) Empresas que descargan directamente al alcantarillado. En este caso la estimación se realizó sobre la base de información recogida en las sanitarias y considerando las industrias, que por sus valores, los Riles son susceptibles de ser metanizados. En las regiones sin información se estimó en base de los caudales relativos de las diferentes sanitarias.

La Tabla 21 muestra la estimación de la materia orgánica proveniente de los Riles y que puede ser metanizada, separada por regiones y agrupada según la clasificación antes mencionada.

2.2.2 Aguas residuales domésticas

Como ya se indicó en el acápite 1.7 (biomasa generada a partir de lodos de plantas de tratamiento de agua), al año 2010 prácticamente se tendrá un 100 % de cobertura de tratamiento, siendo los sistemas más utilizados los que operan como lodos activos en todas sus modalidades. La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento de aguas servidas resulta poco atractiva debido principalmente a las características del agua y a las

condiciones climáticas que presentan las regiones de Chile. Sin embargo, es posible pensar en un pretratamiento anaerobio de las aguas residuales, bajando en a lo menos 1/3 la DQO generando biogás y reduciendo el consumo eléctrico de otros sistemas de tratamiento (aproximadamente 30%). De esta forma la Tabla 22 muestra la cantidad de materia orgánica expresada como DQO distribuida por región posible de ser convertida a metano según la estimación antes mencionada, es decir que la tercera parte de la materia orgánica se metaniza.

Tabla 21: Estimación de la materia orgánica proveniente de los Riles que puede metanizarse, separada por regiones

Región	Riles c/tratam. DQO kg/d	Riles s/tratam. con info SISS DQO kg/d	Riles s/tratam. s/info SISS DQO kg/d	Estimación Riles alcantarillado DQO kg/d	Total DQO ton/año
I	0	1	4	851	312
II	0	1	4	953	350
III	500	2.000	7.830	503	3.954
IV	23.100	7.000	27.404	1.066	21.378
V	6.907	6	235	29.415	13.345
RM	19.941	60	23	114.000	48.919
VI	8.700	120	470	4.061	4.873
VII	4.121	320	1.253	497	2.260
VIII	58.200	180	705	8.414	24.637
IX	22.000	10	39	1.218	8.492
X	17.526	280	10.960	13.740	15.515
XI	1.082	4	350	1.422	1.043
XII	2.542	4	200	3.052	2.116
Total	164.619	9.986	49.477	179.192	147.195

2.2.3 Estiércol de vacuno

El estiércol de vacuno o purines de vacuno corresponde a la mezcla producida por las excretas y orina de animales y agua utilizada para el lavado de las instalaciones del plantel. Estos residuos presentan una alta biodegradabilidad.

Los purines se caracterizan por:

- Un alto contenido de materia orgánica y sólidos suspendidos
- Un alto contenido de nutrientes como nitrógeno y fósforo
- La presencia de minerales como cobre y zinc
- Un alto contenido de microorganismos patógenos de origen fecal

Estas características dificultan la disposición directa de los purines al medio ambiente, por ejemplo si se disponen directamente en cursos de agua, debido al alto contenido de

materia orgánica y de nutrientes se expone a reducir el oxígeno disuelto en el agua pudiendo provocar eutrofización de las aguas. La disposición directa de los purines al terreno origina problemas de olores, atracción de vectores y presencia de microorganismos patógenos, que al ser de origen fecal, se presentan fundamentalmente bacterias, hongos y actinomicetos, o bien provocan la sobrefertilización de los terrenos.

Tabla 22: Materia orgánica transformable a biogás a partir de un pretratamiento anaerobio de las aguas residuales domésticas

Región	Empresa	Caudales m ³ /día	M.O. total DQO kg/día	DQO transformable a CH ₄ ton/año
I	ESSAT	83.049	41.525	5.002
II	ESSAN	93.021	46.510	5.602
III	EMSSAT	49.103	24.551	2.957
IV	ESSCO	104.023	52.012	6.265
V	ESVAL	286.100	143.050	17.230
	COOPAGUA	880	440	53
RM	AGUAS ANDINAS	1.112.216	556.108	66.983
	AGUAS CORDILLERA	86.619	43.310	5.217
	AGUAS LOS DOMINICOS	3.131	1.565	189
	AGUAS MANQUEHUE	3.560	1.780	214
	SERVICOMUNAL	14.376	7.188	866
	SMAPA MAIPÚ	123.689	61.845	7.449
VII	AGUAS NUEVO SUR MAULE	126.762	63.381	7.634
VI y VII	ESSBIO	429.140	214.570	25.845
IX	ESSAR	118.903	59.452	7.161
X	ESSAL	107.717	53.859	6.487
	AGUAS DÉCIMA	26.352	13.176	1.587
XI	AGUAS PATAGONIA AYSÉN	13.869	6.934	835
XII	ESMAG	29.779	14.890	1.793
Total		2.812.290	1.406.145	169.370

Los lodos que se generan en el tratamiento de purines con lagunas anaeróbicas o reactores anaeróbicos, presentan una densidad de 1.060 kg/m³, con una humedad entre 80 y 94%, formando un material semilíquido, que no puede ser incinerado por los altos costos de vaporización del agua que contiene (balance energético negativo) y que además no se puede verter a cursos de aguas o en terrenos sin escurrir hacia el nivel freático considerando la alta carga orgánica (DBO) y de N, por lo que se debe realizar un sistema de estabilización.

En Chile existe la crianza y engorda de vacunos que se realiza tanto en sistemas estabulados como en corrales, al aire libre en este último caso. El estiércol generado, de características sólidas, no es recolectado, dejándolo como abono para el mismo campo. La difícil recolección de este tipo de estiércol resulta poco factible económicamente, ya que presenta una elevada dispersión. En los establos de vacunos existe un sistema de lavado relativamente sofisticado, por lo cual la mayor parte del estiércol generado es recuperable en forma de purines.

En el caso de las lecherías de la zona sur de Chile, debido a la característica climática de alta pluviosidad, las aguas lluvia, y las aguas sucias (principalmente del lavado de pisos) son los principales constituyentes en los efluentes de lecherías. Los purines sólo representan un 25% del volumen total de efluentes producidos. Esto concuerda con lo observado por Gibson (1995) en predios lecheros de Nueva Zelanda, quien observó que sólo un 10% de los efluentes era producto de estiércol y el resto agua utilizada en la limpieza. En la Región Metropolitana más del 50% de los animales se encuentran estabulados, mientras que en regiones (fundamentalmente VI a X Region) los animales estabulados no alcanzan al 5%.

En relación a los efluentes líquidos, el volumen total de efluente generado en cada predio se estima en un valor dentro del rango de 775 a 42.790 m³/año. Esto es equivalente a una producción media diaria de 147 litros/vaca (34 a 260 litros/vaca). La gran variación de los valores obtenidos se explica por las distintas prácticas y los sistemas utilizados en el manejo de los efluentes a nivel predial. Los resultados de los estudios revelan una gran contribución de aguas lluvia desde áreas no techadas, techos sin canalización y del agua lluvia que ingresa directamente a los pozos purineros descubiertos.

Se determinan tres fuentes principales de generación de agua sucias: agua de limpieza de pisos (73%), agua de limpieza de equipo de ordeña (20%) y agua para aseo del estanco de almacenamiento de leche (7%). Se estimó una producción media de agua sucia de 1.798 m³/año, equivalente a un rango diario de 6 a 173 litros/vaca. Longhurst y col. (1999), para lecherías de Nueva Zelanda, señalan valores entre 40 y 136 litros/vaca/día. En el Reino Unido, el Código de Buenas Prácticas Agrícolas informa de valores promedios de 18 a 35 litros/vaca/día (14 a 45 litros/vaca/día), variando de acuerdo al sistema de limpieza usado (MAFF, 1998). Estimaciones indican que un vacuno de beneficio (450 - 635 kg) genera entre 38 y 53 kg/día de estiércol.

Tabla 23: Materia orgánica disponible para metanizar a partir de estiércol de vacuno por regiones

Región	Nº Cabezas	Materia orgánica kg/año	DQO removible ton/año
I	2.744	1.838.480	1.470
II	8.020	5.373.400	4.298
III	49	32.830	26
IV	16.123	10.802.410	8.641
V	52.524	35.191.080	28.152
VI	29.674	19.881.580	15.905
VII	29.399	19.697.330	15.757
VIII	102.622	68.756.740	55.005
IX	104.166	69.791.220	55.832
X	178.732	119.750.440	95.800
XI	11.805	7.909.350	6.327
XII	12.653	8.477.510	6.782
RM	272.718	182.721.060	146.176
Total	821.229	550.223.430	440.178

En base a estas estimaciones la Tabla 23 muestra la materia orgánica generada por año y el DQO posible de remover por biometanización, asumiendo un factor de 0,80 kg de DQO removable/kg materia orgánica. El valor es utilizado posteriormente para el cálculo del biogás producido.

2.2.4 Estiércol de porcino

En el caso de la crianza de porcinos toda la recolección del estiércol es realizada en forma de purines, los cuales en principio presentan un mayor potencial energético dentro de la biomasa húmeda, considerando cantidad, concentración y la facilidad en recolección.

En cuanto a la importancia de este sector dentro de la economía nacional, se puede señalar que la producción general de carnes en Chile ha tenido un extraordinario crecimiento en la década de los 1990, con aumentos promedios anuales del 6,5%. La producción de carnes de cerdo, sin embargo, ha tenido un desarrollo aún más dinámico con aumentos de la producción anual de 8,6% para el mismo período.

Este crecimiento se debe principalmente a dos factores:

- Un alto crecimiento de la demanda agregada como resultado del desarrollo del país, lo que se traduce en que el consumo total de carnes ha tenido una evolución que ha estado fuertemente influenciada por la evolución del PIB.
- Importantes aumentos de la eficiencia productiva del sector han permitido disminuciones de precios reales al consumidor, de casi 30% desde el año 90 a la fecha.

Las exportaciones de productos porcinos en el año 2004 alcanzaron más de 250 millones de dólares. Estas cantidades han tenido un aumento sostenido en la última década. Las proyecciones para el año 2010 señalan que el sector podría estar con exportaciones cercanas a los US\$ 500 millones, constituyéndose en el principal actor en materias de exportaciones del sector cárnico. La industria porcina ha realizado inversiones en los últimos cuatro años por montos superiores a los 250 millones de dólares, logrando así un alto nivel tecnológico y de eficiencia productiva.

El sector porcino nacional es una actividad que genera un alto nivel de empleo, especialmente en zonas rurales y sub-urbanas. Además del empleo directo, genera una gran cantidad de trabajo en sectores como transportes y servicios. El empleo total, sin considerar el efecto sobre el comercio y pequeños agricultores, se estima en 18.000 personas.

Agrosuper, en el año 2000 realizó la construcción del primer biodigestor para el tratamiento de los purines de los planteles de cerdo en la localidad de Peralillo, como mecanismo para

el tratamiento de estos residuos, y actualmente la empresa cuenta con otros cuatro biodigestores operando y siete lagunas aeróbicas.

El biodigestor de Peralillo cuenta con una capacidad de 37.000 m³, y recibe los purines de 120.000 cerdos divididos en 4 unidades. Estos son conducidos vía subterránea hasta el biodigestor, donde comienza el proceso anaeróbico que permite la transformación de la materia orgánica en gas metano. En el biodigestor se generan cerca de 15.000 m³ de biogás diarios con un 65% de metano, que permite la operación de una caldera utilizada para calentar agua y así mantener la temperatura del biodigestor en 35°C, temperatura ideal para el funcionamiento del sistema y de las bacterias metanogénicas. El 50% restante se quema en una flama ubicada al costado de la caldera. Cuando la temperatura del biodigestor es la adecuada, el total del biogás se quema.

Complementando el sistema del biodigestor y para la obtención de agua más limpia, en el año 2003 la empresa construyó una planta de lodos activados, que también forma parte del sistema que reduce emisiones, puesto que se trata de un sistema aeróbico que evita la emisión de aproximadamente 35 mil toneladas de CO₂ al año. El lodo obtenido en la planta, se utiliza como fertilizante en los mismos terrenos de la empresa, mientras que la fracción líquida se depura a través de distintos procesos físicos, químicos y biológicos. El sistema también permite la nitrificación y desnitrificación logrando abatir el nitrógeno y eliminando a la atmósfera en forma gaseosa. En la Tabla 24 se presenta el número de cerdos y la cantidad de purines generados por región.

Tabla 24: Materia orgánica generada en forma de purines de cerdos

Región	Porcinos	Materia orgánica ton/año
I	1.007	122
II	554	67
III	0	0
IV	389	47
V	3.347	405
VI	2.595.825	314.613
VII	50.873	6.165
VIII	41.095	4.980
IX	31.783	3.852
X	40.248	4.878
XI	816	98
XII	275	33
RM	1.208.454	146.464
Total	3.974.666	481.729

La Tabla 25 muestra la materia orgánica, generada a partir de los purines de cerdo, que actualmente cuenta con un sistema anaerobio de tratamiento y la materia orgánica que aun no cuenta con digestión anaerobia.

Tabla 25: Materia orgánica a partir de purines de cerdos con y sin digestión anaerobia (DA)

Tipo de materia prima	Materia orgánica ton/año
Purines sin DA	241.000
Purines con DA	240.000
Total	481.000

3. Potencial teórico de las distintas biomásas disponibles para la obtención de biogás

En este capítulo se estimará el potencial teórico de biogás, que es el que corresponde a la metanización de toda la materia orgánica disponible estimada, la que fue calculada en el punto anterior, descontando la humedad. Para hacer la conversión a biogás se utilizaron los factores mostrados en la Tabla 26, los cuales fueron estimados a partir de datos bibliográficos y de análisis de laboratorio realizados por los autores de este informe. Dependiendo de la información disponible, estos factores están en términos de productividad por unidad de materia orgánica o por unidad de DQO.

Tabla 26: Factores de conversión utilizados en el cálculo del potencial de biogás

Tipo de biomasa	Productividad	Unidades	% Metano en biogás
Riles	500	m ³ biogás/ton DQO degradado	0,60
Desmal. y poda	270	m ³ biogás/ton residuo	0,70
Cultivos de temp.			
Trigo	500	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,60
Maiz	700	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,60
Papa	700	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,60
Raps	200	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,60
Remolacha	500	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,60
Agroindustria			
Vitivinícola	700	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,62
Cervecera	700	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,63
Láctea	500	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,60
Conservera	510	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,60
Bebidas de infusión	330	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,60
Mataderos	430	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,65
RSU	850	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,50
Grasas	430	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,70
Estiércol vacuno	500	m ³ biogás/ton DQO degradado	0,60
Trat. aner. ARU	480	m ³ biogás/ton DQO degradado	0,63
Lodos PTA	550	m ³ biogás/ton materia orgánica	0,62
Estiércol avícola	520	m ³ biogás/ton DQO degradado	0,58
Estiércol porcino	480	m ³ biogás/ton DQO degradado	0,62

La determinación de los potenciales energéticos se encuentra en el Anexo 4 y 5.

3.1. Potencial teórico de biomasa residual seca

3.1.1 Potencial de biogás forestal

Dado lo señalado en el capítulo anterior, no se ve atractivo la generación de biogás a partir de los residuos forestales, en comparación con su transformación energética a través de procesos térmicos, o bien en el mediano o largo plazo su bioconversión a alcohol a través de biorefinerías.

3.1.2 Potencial de biogás de la agroindustria

Para la estimación del potencial teórico del biogás generado a partir de la biomasa residual de procesos agroindustriales se considerará su transformación a través de la digestión anaerobia en reactores de mezcla completa, obteniéndose un potencial máximo teórico de biogás. A continuación se muestran los valores para cada uno de los residuos seleccionados.

3.1.2.1 Potencial de biogás de la fermentación alcohólica

En la Tabla 27 se muestra la generación de biogás a partir de los residuos sólidos de la producción de vinos, orujos y escobajos, a nivel nacional. El porcentaje promedio de generación de residuos industriales sólidos (residuos sólidos de la producción de vino) es 7,5% a partir de la materia prima (uva) utilizada. Este valor se tomó en función de caracterizaciones realizadas en la industria del vino. La materia orgánica disponible se calcula a partir de la materia orgánica total descontándose la humedad y contenido de cenizas. Se incluye además en la Tabla 27 los residuos generados por la industria procesadora de residuos de la vitivinicultura (empresa Industrias Vinicas), asumiendo una pérdida del 5% en el transporte y que el residuo generado corresponde al 80% de la materia que ingresa.

Tabla 27: Potencial de generación de biogás a partir de residuos sólidos generados en la industria vitivinícola

Región	Materia orgánica disponible ton/año	Biogás miles m³/año	Metano miles m³/año
RM	2.116	1.481	918
IV	194	135	84
V	440	308	191
VI	2.023	1.416	878
VII	7.171	5.020	3.112
VIII	201	141	87
IX	0	0	0
X	6	4	2
Total bodegas	12.152	8.506	5.274
Industria procesadora residuos	39.218	27.561	17.088

En la Tabla 28 se muestra el potencial de generación de biogás a partir de los desechos sólidos de la industria de la cerveza. En este caso se considera el orujo cervecero y la levadura. No se consideran en los cálculos las pequeñas plantas de Punta Arenas y Valdivia. Se consideró un valor de biodegradabilidad obtenido en pruebas de laboratorio realizadas en la PUCV.

Tabla 28: Potencial de generación de biogás de residuos sólidos de la industria cervecera

Región	Producción cerveza m ³ /año	Residuo generado ton/año	Materia orgánica disponible ton/año	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
RM	320.000	11.405	9.124	6.387	4.024
IX	120.000	4.277	3.422	2.395	1.509
Total	440.000	15.682	12.546	8.782	5.533

3.1.2.2 Potencial de biogás de la industria de lácteos

En la Tabla 29 se muestra el potencial de biogás posible de generar a partir de la industria láctea. La tabla se refiere a los residuos sólidos, fundamentalmente generados en la industria del queso.

Tabla 29: Potencial de biogás generado mediante los residuos sólidos de la industria láctea

Región	Leche procesada m ³ /año	Residuo sólido ton/año	Materia orgánica ton/año	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
RM	263.827	2.108	1.897	948	569
VIII	66.447	1.689	1.520	760	456
IX	132.428	2.967	2.670	1.335	801
X	232.288	1.192	1.073	536	321
Total	694.990	7.956	7.160	3.580	2.148

3.1.2.3 Potencial de biogás de la industria conservera de frutas y verduras

En la Tabla 30 se muestra el potencial de biogás posible de generar a partir de la industria que procesa frutas y verduras produciendo conservas de frutas y verduras.

Tabla 30: Potencial de generación de biogás a partir de la industria conservera de frutas y verduras

Región	Residuo sólido ton/año	Materia orgánica ton/año	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
RM	237.035	34.536	17.613	10.568
IV	18.033	2.627	1.339	803
V	65.865	9.597	4.894	2.936
VI	197.581	28.788	14.681	8.808
VII	219.152	31.930	16.284	9.770
VIII	133.277	19.418	9.903	5.942
IX	1.935	282	143	86
X	4.074	594	302	181
Total	876.952	127.772	65.163	39.098

3.1.2.4 Potencial de biogás a partir de bebidas de infusión

En la Tabla 31 se muestra el potencial de biogás posible de generar a partir de la industria que produce bebidas infusionales. En este caso existen sólo dos industrias pero generan un importante nivel de sólidos. Se considera en la tabla los residuos generados a partir de la producción de café instantáneo, té instantáneo y sucedáneo de café. Este último producto se genera a partir de cebada. Se consideró un valor de biodegradabilidad obtenido en pruebas de laboratorio realizadas en la PUCV.

Tabla 31: Potencial de generación de biogás a partir de residuos sólidos de la industria del café instantáneo, té y sucedáneo

Residuos sólidos ton/año	Materia orgánica ton/año	Biogas miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
73.116	7.312	2.412	4.387

3.1.3 Potencial de biogás a partir de principales cultivos de temporada

En la Tabla 32 se muestra el potencial de biogás posible de generar a partir de los residuos generados provenientes de los principales cultivos de temporada. Estos valores pueden sufrir modificaciones en función de los niveles anuales de cultivo. Por otro lado son residuos dispersos y eso se verá reflejado en el valor asignado a su real disposición, valor que será indicado en la sección 3.3.

Tabla 32: Potencial de generación de biogás a partir de los principales cultivos de temporada 2003-2004

Tipo materia prima	Generación ton/año	M.O. disp. ton/año	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
Trigo	1.595.573	478.672	239.335	148.388
Maiz	919.126	183.825	128.677	79.780
Papa	214.327	21.433	15.002	9.301
Raps	17.689	1.769	353	219
Remolacha	88.419	8.842	4.420	2.740
Total	2.835.134	694.541	387.791	240.430

3.1.4 Potencial de biogás a partir de desechos de poda y desmalezado de parques y jardines municipales

En la Tabla 33 se muestra el potencial de biogás posible de generar a partir de los residuos de poda y desmalezado de parques y jardines municipales. En este caso si bien se calcula un potencial, este es sólo factible en los municipios que tienen altas extensiones de parques y jardines. Por ello se considera sólo las regiones centrales del país. Para la estimación de estos valores se consideró un residuo compactado de poda y maleza.

Tabla 33: Potencial de generación de biogás de los residuos de poda y desmalezado

Región	Residuos kg/año	Biogás m³/año	Metano m³/año
V	165.607	44.217	30.952
RM	689.785	184.173	128.921
VI	521.885	139.343	97.540
VII	58.706	15.675	10.972
VIII	157.606	42.081	29.456
Total	1.593.589	425.488	297.842

3.1.5 Potencial de biogás a partir de los residuos de matadero

En la Tabla 34 se presenta el potencial de generación de biogás a partir de los residuos orgánicos generados por la industria del beneficio de animales. Los valores de biodegradabilidad se obtuvieron de pruebas de laboratorio realizadas en la PUCV.

**Tabla 34: Generación de biogás de residuos de la industria de matadero
(beneficio de animales)**

Región	Residuos sólidos ton/año	Materia orgánica ton/año	Biogás miles m³/año	Metano miles m³/año
RM	300.638	45.750	19.672	12.787
IV	3.095	471	202	131
V	23.135	3.521	1.513	983
VI	85.583	13.024	5.600	3.640
VII	1.851	282	121	78
VIII	16.496	2.510	1.079	701
IX	18.041	2.745	1.180	767
X	6.194	943	405	263
Total	455.033	69.245	29.775	19.353

3.1.6 Potencial de biogás a partir de los residuos industriales de grasas y aceites

En la Tabla 35 se muestra el potencial de biogás posible de generar a partir de los residuos generados por la industria de aceites y grasas. En este caso están sumados los valores de grasas generados en el beneficio del ganado.

Tabla 35: Potencial de biogás a partir de los residuos generados por la industria de aceites y grasas

Región	Residuos sólidos ton/año	Materia orgánica ton/año	Biogás m ³ /año	Metano m ³ /año
RM	6.632	305	131.181	91.827
V	30	0	119	83
VII	219	2	890	623
Total	6.881	307	132.190	92.533

3.1.7 Potencial de biogás a partir de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas (PTA)

En la Tabla 36 se muestra el potencial de biogás generado a partir de los lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas servidas.

Si se subdividen estos valores entre las plantas que ya generan biogás y las que no lo generan el potencial de biogás para las primeras es de aproximadamente 177.500 m³/d y de 199.000 m³/d para las segundas. Se estima que estas cifras aumentarán en al menos un 25% cuando exista 100% de cobertura de tratamiento el año 2008.

Tabla 36: Potencial de biogás generado a partir de los lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas servidas

Región	Empresa	Lodo seco kg/día	Biogás m ³ /día	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
I	ESSAT	33.679	11.114	4.056	2.433
II	ESSAN	37.723	12.448	4.543	2.726
III	EMSSAT	19.913	6.571	2.398	1.439
IV	ESSCO	42.185	13.921	5.081	3.048
V	ESVAL	116.022	38.287	13.974	8.384
	COOPAGUA	357	118	42	25
RM	AGUAS ANDINAS	451.037	148.842	54.327	32.596
	AGUAS CORDILLERA	35.127	11.592	4.230	2.538
	AGUAS LOS DOMINICOS	1.270	419	152	91
	AGUAS MANQUEHUE	1.444	476	173	104
	SERVICOMUNAL	5.830	1.924	702	421
	SMAPA MAIPÚ	50.160	16.553	6.041	3.625
VII	AGUAS NUEVO SUR MAULE	51.406	16.964	6.191	3.715
VI y VII	ESSBIO	174.029	57.430	20.961	12.577
IX	ESSAR	48.219	15.912	5.807	3.484
X	ESSAL	43.682	14.415	5.261	3.156
	AGUAS DÉCIMA	10.686	3.526	1.287	772
XI	AGUAS PATAGONIA AYSÉN	5.624	1.856	677	406
XII	ESMAG	12.076	3.985	1.454	872
Total		1.140.468	376.354	137.369	82.421

3.1.8 Potencial de biogás a partir de los residuos sólidos urbanos (RSU)

Actualmente la recolección de biogás que se realiza en los rellenos sanitarios chilenos se considera precaria, debido a la inexistencia de regulaciones específicas que obliguen a los rellenos a recolectarlo, quemarlo o utilizarlo, en alguna proporción determinada. Por lo tanto, la recolección de biogás es orientada a prevenir riesgos de incendio y explosiones más que a evitar su ventilación a la atmósfera, aunque actualmente se está implementando fundamentalmente para acceder a los bonos de carbono.

La Tabla 37 muestra el potencial máximo de biogás a partir de RSU dispuesta en rellenos sanitarios, subdivididos en aquellos que tienen captación de biogás y aquellos que no lo tienen. Para recuperar el biogás de estos últimos es necesario primero realizar inversiones para su captación y combustión.

Tabla 37: Potencial de biogás a partir de RSU dispuestos en rellenos sanitarios

Tipo de relleno	Biogás m ³ /mes	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
c/captación de biogás	9.629.306	115.551	57.775
s/captación de biogás	4.472.620	53.671	26.835

Para la estimación de la producción de metano se consideró el promedio por habitante proyectado al año 2010, el censo poblacional 2002 del INE y el valor teórico de la generación de biogás a partir de RSU en reactores (60 m³ biogás/ton residuo). En el Anexo 9 se presentan diferentes escenarios los cuales fueron considerados para estimar el mínimo y el máximo disponible a partir de este potencial.

3.1.9 Potencial de biogás a partir de estiércol avícola

En la Tabla 38 se presenta el potencial teórico de biogás generado a partir del estiércol de la crianza y engorde de aves mediante digestión anaerobia en reactores.

Tabla 38: Potencial de metano a partir de estiércol avícola

Región	M.O. ton/año	DQO removible ton/año	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
I	31.584	47.375	24.504	14.212
V	15.033	22.549	11.663	6.764
VI	325.135	487.703	252.260	146.310
VIII	649	974	503	292
RM	241.478	362.217	187.353	108.665
Ponedoras	131.575	197.362	102.084	59.208
Pavos	55.000	82.500	42.672	24.750
Total	800.454	1.200.681	621.042	360.204

El cálculo del potencial de generación de biogás a partir del estiércol avícola se realiza en base a la información obtenida del INE, sobre el número de aves de engorda, CONAMA y ASOHUEVO, Asociación de productores de huevos, para determinar el número nacional de aves ponedoras. Para el factor promedio de generación de materia orgánica en el estiércol en kg/año se tomó la información registrada en la FAO. Además, se consideró un rendimiento en la digestión anaerobia del 80%.

3.2 Potencial teórico de biogás de biomasa residual húmeda

3.2.1 Potencial teórico de biogás de residuo industrial líquido (RIL)

La Tabla 39 muestra el potencial por región para el biogás posible de generar a partir de residuos industriales líquidos. El cálculo se ha establecido sobre una base conservadora, tomando en consideración un rendimiento de los sistemas anaerobios de tratamiento del 65% (en la realidad oscila entre un 60 y un 95%) y una conversión de DQO a metano de 0,3 m³/kg DQO degradado³.

Tabla 39: Potencial de biogás a partir de residuos industriales líquidos por regiones

Región	DQO total ton/año	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
I	312	101	60
II	350	113	40
III	3.954	1.284	771
IV	21.378	6.947	4.168
V	13.345	4.337	2.601
RM	48.919	15.898	9.538
VI	4.873	1.583	949
VII	2.260	733	439
VIII	24.637	8.007	4.804
IX	8.492	2.760	1.655
X	15.515	5.041	3.025
XI	1.043	338	203
XII	2.116	688	412
Total	147.195	47.838	28.703

3.2.2 Potencial teórico de biogás de aguas residuales urbanas (ARU)

Bajo los supuestos establecidos en el capítulo 2, la Tabla 40 muestra el potencial de biogás que es posible generar a partir de un pretratamiento anaerobio de las aguas residuales urbanas.

3 El rendimiento significa una remoción o degradación del 65% de la carga orgánica (DQO) del agua residual. Para esa carga orgánica degradada se supone una productividad de 0,3 m³ de metano por kg de DQO.

Tabla 40: Potencial de generación de biogás a partir del pretratamiento anaerobio de ARU

Región	Empresa	DQO transformable a CH ₄ ton/año	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
I	ESSAT	5.002	2.381	1.500
II	ESSAN	5.602	2.667	1.680
III	EMSSAT	2.957	1.408	887
IV	ESSCO	6.265	2.983	1.879
V	ESVAL	17.230	8.204	5.169
	COOPAGUA	53	25	15
RM	AGUAS ANDINAS	66.983	31.896	20.094
	AGUAS CORDILLERA	5.217	2.484	1.564
	AGUAS LOS DOMINICOS	189	89	56
	AGUAS MANQUEHUE	214	102	64
	SERVICOMUNAL	866	412	259
	MAPA MAIPÚ	7.449	3.547	2.234
VII	AGUAS NUEVO SUR MAULE	7.634	3.635	2.290
VI y VII	ESSBIO	25.845	12.307	7.753
IX	ESSAR	7.161	3.409	2.148
X	ESSAL	6.487	3.089	1.946
	AGUAS DÉCIMA	1.587	755	476
XI	AGUAS PATAGONIA AYSÉN	835	397	250
XII	ESMAG	1.793	854	538
Total		169.370	80.652	50.811

3.2.3 Potencial de biogás a partir de estiércol de vacuno

En la Tabla 41 se presenta el valor teórico de generación de biogás a partir de la digestión anaerobia de purines de vacunos en reactores. El cálculo del potencial de generación de metano a partir del estiércol se realiza en base a la información obtenida del INE, sobre el número de cabezas de ganado, el promedio de generación de materia orgánica en el estiércol en kg/año de la FAO, y considerando un rendimiento en la digestión anaerobia de 80%.

Tabla 41: Potencial de metano generado a partir de estiércol de vacuno

Región	Materia orgánica ton/año	DQO removible ton/año	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
I	1.838	1.470	735	441
II	5.373	4.298	2.149	1.289
III	32	26	13	7
IV	10.802	8.641	4.320	2.592
V	35.191	28.152	14.076	8.445
VI	19.881	15.905	7.952	4.771
VII	19.697	15.757	7.878	4.727
VIII	68.756	55.005	27.502	16.501
IX	69.791	55.832	27.916	16.749
X	119.750	95.800	47.900	28.740
XI	7.909	6.327	3.163	1.898
XII	8.477	6.782	3.391	2.034
RM	182.721	146.176	73.088	43.853
Total	550.223	440.178	220,089	132.053

3.2.4 Potencial de biogás a partir de estiércol de porcino

En la Tabla 42 se presenta el potencial teórico de generación de biogás a partir de la digestión anaerobia de purines de porcino. Actualmente la producción de metano a partir de purines de cerdo es de 39.000 m³CH₄/día proveniente de los digestores anaerobios de Agrosuper. Considerando la producción nacional porcina y la generación de purines por cabeza de ganado, la producción de metano total idealizada en reactores anaerobios es de 316.754 m³CH₄/día. Para la estimación de la generación de biogás a partir de la digestión anaerobia de purines se consideraron las cabezas de animales por regiones y una eficiencia de remoción de materia orgánica en digestores anaerobios del 80%. La población de ganado porcino se obtuvo de la ODEPA y el INE, 2004.

Tabla 42: Potencial de metano generado a partir de estiércol de porcino

Región	Materia orgánica ton/año	DQO removible ton/año	Biogás miles m ³ /año	Metano miles m ³ /año
I	122	97	47	29
II	67	53	25	16
IV	47	37	18	11
V	405	324	156	97
VI	314.613	251.691	121.685	75.507
VII	6.165	4.932	2.384	1.479
VIII	4.980	3.984	1.926	1.195
IX	3.852	3.081	1.489	924
X	4.878	3.902	1.886	1.170
XI	98	79	38	23
XII	33	26	12	7
RM	146.464	117.171	56.649	35.151
Total	481.730	385.384	186.322	115.615

3.3 Disponibilidad de la biomasa y potencial de biogás en función de su facilidad de recolección y procesamiento

Si bien durante esta sección se ha mostrado la biomasa disponible para su biometanización, esta biomasa estará menos disponible mientras más dispersa se encuentre. Es por ello que resulta importante caracterizar las biomásas desde este punto de vista. La Figura 8, construida en base a la Figura 2, muestra las distintas biomásas indicándose si éstas están dispersas (D), agrupadas (A) o concentradas (C).

Por otro lado para determinar qué parte del potencial de materia orgánica es posible metanizar, se evaluó la disponibilidad real de cada una de ellas estableciéndose un rango entre el valor mínimo y el máximo esperable, lo que se muestra en la Tabla 43. Estos valores serán utilizados en los cálculos subsiguientes para determinar los potenciales energéticos mínimos y máximos a partir del biogás generado a través de las diferentes biomásas.

Figura 8: Clasificación de los distintos tipos de biomasa disponible indicándose si se encuentra dispersa (D), agrupada (A), o concentrada (C)

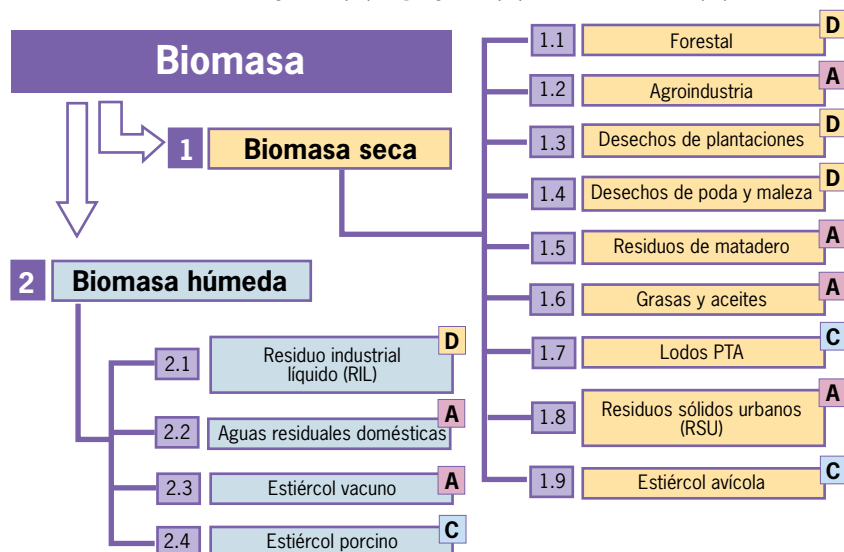


Tabla 43: Disponibilidad mínima y máxima de las distintas biomásas

Disponibilidades de biomasa		
	Mínimo	Máximo
Agroindustria		
Vitivinícola	0,80	0,95
Procesadora residuos vitivinícola	0,64	0,76
Cervecera	0,80	0,95
Lácteos	0,05	0,10
Conservas	0,20	0,40
Bebidas de infusión	0,80	0,95
Desechos de plantaciones	0,15	0,25
Poda y maleza	0,10	0,15
Residuos de mataderos	0,10	0,25
Grasas y aceites	0,00	0,20
Lodos de PTA	0,50	0,80
RSU	0,50	0,80
Estiércol avícola	0,90	0,97
RIL	0,00	0,27
Trat. anaerobio de ARU	0,10	0,20
Estiércol vacuno	0,10	0,25
Estiércol porcino	0,50	0,95

A continuación se describen los criterios utilizados para definir las disponibilidades mínimas y máximas para las distintas biomásas.

- a) Industria vitivinícola (A): En la actualidad el 81% de los residuos sólidos provenientes de la industria del vino son recolectados por Industrias Vínicas, lo que favorece su metanización. Del 19% que no son recolectadas, se asumen pérdidas del 5%.
- b) Industria procesadora de residuos de la industria vitivinícola (C): Corresponde al 80% de los residuos que son retirados de las bodegas productoras de vinos. Se asume una generación del 80% de residuos luego de su procesamiento.
- c) Industria cervecera (C): La industria cervecera está concentrada, siendo CCU el principal productor. En tres plantas se concentra más del 95% de la producción de cerveza. Se asume una pérdida del 5% y que parte del orujo puede emplearse como alimento animal.
- d) Industria láctea (A): La industria láctea genera residuos sólidos en una forma más bien fugitiva y su recolección en forma separada no va más allá del 10%. El costo de separar en origen no justifica un uso mayor.
- e) Industria conservera (D): Al ser una industria dispersa, se asume que sólo las empresas de un cierto tamaño pueden generar residuos metanizables. Además, parte de los residuos son utilizados como alimento animal.
- f) Industria de bebidas infusionales (C): Industria concentrada en dos firmas y con potencial de utilizar los residuos. Se asume pérdidas del 5%.
- g) Desechos de plantaciones (D): Estos residuos están muy dispersos y no es esperable recuperar más del 25%.
- h) Residuos municipales de poda y maleza (D): Sólo las municipalidades grandes tendrían los recursos para su separación y posible procesamiento.
- i) Mataderos (A): Los desechos sólidos de matadero en general son utilizados para la elaboración de harinas y sólo entre el 10 y el 25% estarían disponibles para metanizar.
- j) Industria de grasas y aceites (A): Estos residuos tienen en general un valor de mercado y por tanto es bajo el porcentaje que puede metanizarse.
- k) Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (C): El 50 % que se metaniza es el valor mínimo. Del resto se descarta el 20% proveniente de plantas más chicas.
- l) Residuos sólidos urbanos (A): Existe un porcentaje de rellenos que tienen captación de biogás, pero se recupera sólo el 30%. Existe no menos del 20% que puede metanizarse en reactores.

- m) Estiércol avícola (C): Es una industria altamente concentrada y con residuos de fácil metanización. Se considera una pérdida del 3%.
- n) Residuos industriales líquidos (D): Con la entrada en vigencia de la normativa consignada en el decreto D.S. 90, las industrias deberán tener plantas de tratamiento. Sin embargo, si sigue la tendencia actual, más del 60% de las plantas serán aerobias.
- o) Tratamiento anaerobio de aguas residuales (A): Se considera que podría tratarse una fracción del agua residual urbana en sistema anaerobio como pretratamiento al sistema aerobio. Mayores modificaciones no son posibles dadas las inversiones ya realizadas.
- p) Estiércol vacuno (A): En el sur un 5% de los planteles están estabulados. En el centro un 50%, lo que entrega la cota máxima. Además, se considera una fracción de las excretas para planteles no estabulados para los momentos en que los animales están en ordeña.
- q) Estiércol porcino (C): El 50% ya se metaniza y existe el potencial para los otros planteles, menos para el 5% más pequeño que en general no requieren sistemas de tratamiento.

Las Figuras 9, 10 y 11 resumen los valores mínimos y máximos de biogás disponible para las biomásas dispersas, agrupadas y concentradas respectivamente.

Figura 9: Potencial mínimo y máximo de biogás para la biomasa dispersa

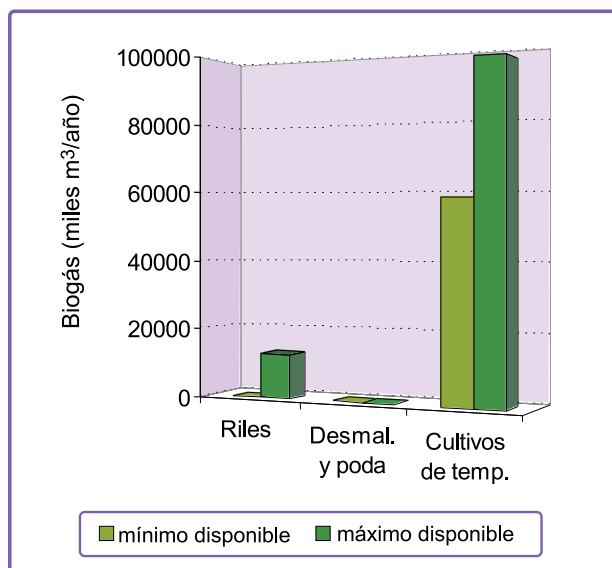


Figura 10: Potencial mínimo y máximo de biogás para la biomasa agrupada

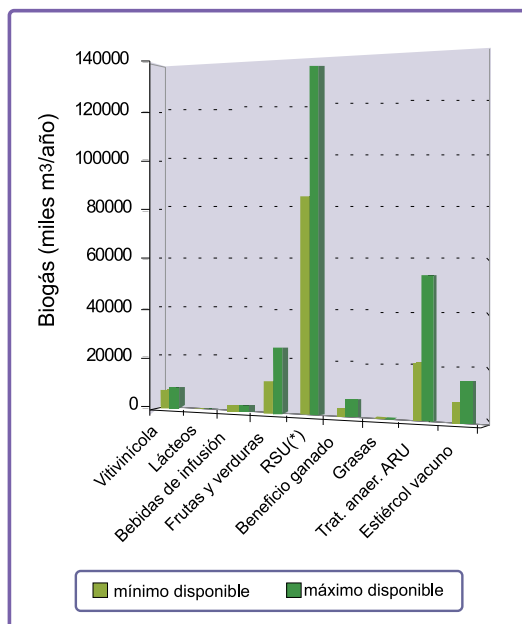
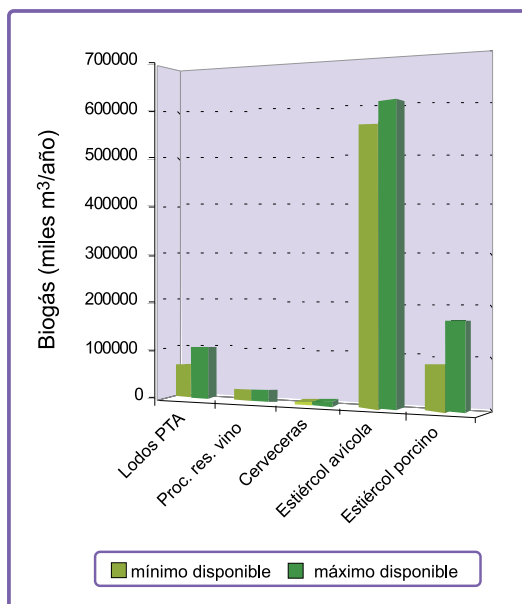


Figura 11: Potencial mínimo y máximo de biogás para la biomasa concentrada



La Figura 12 resume los datos y se observa que el máximo potencial está en la biomasa concentrada lo que significa menores costos de transporte y manipulación. La Figura 13 muestra la misma información con la diferencia que agrupa toda la biomasa proveniente de la agroindustria.

Figura 12: Potencial de biogás para las diferentes biomásas consideradas en el estudio:
(a) biomasa dispersa, (b) biomasa agrupada, (c) biomasa concentrada

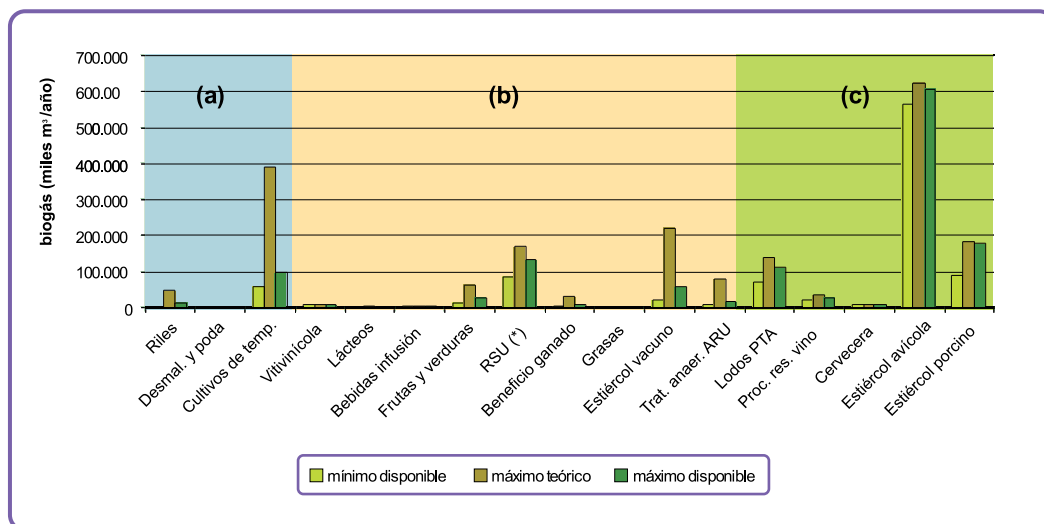
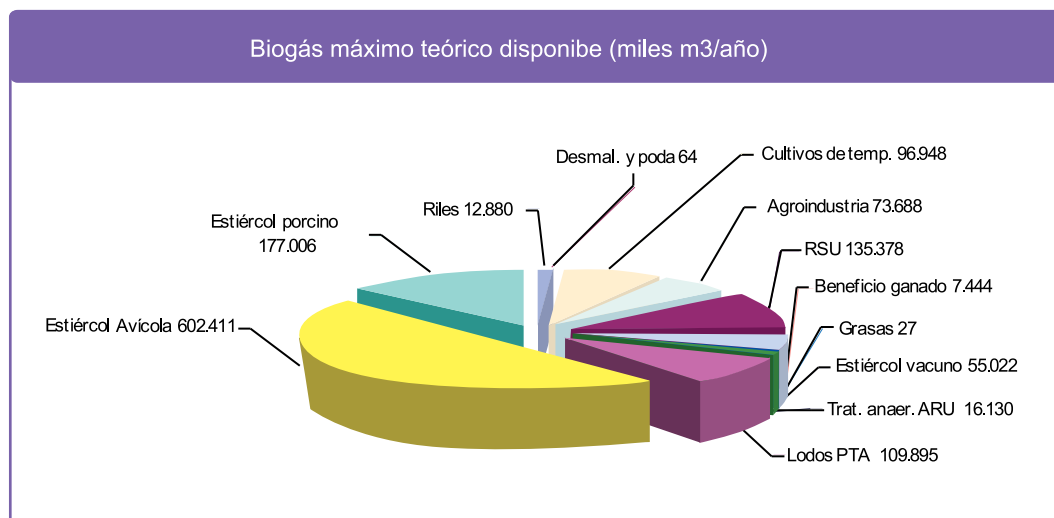


Figura 13: Potencial máximo teórico de biogás para las diferentes biomásas (miles m³/año)



4. Estimación de la generación eléctrica a partir de biogás generado por distintas biomásas disponibles

4.1 Tecnología de cogeneración disponible a aplicar en Chile

4.1.1 Aspectos generales de cogeneración

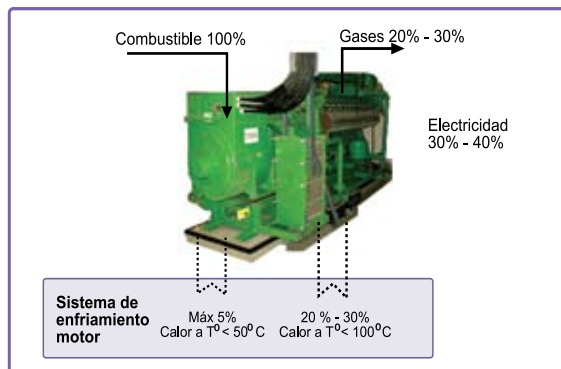
En función de la experiencia acumulada en otros países, en especial Alemania, para evaluar la energía cogenerada a partir del biogás se tomará en consideración el motor de combustión interna, ya que representa las mejores condiciones para las necesidades energéticas de la industria, tanto en potencia, tamaño e inversión.

Los motores de combustión interna se fabrican en un rango de potencia que va desde las decenas de kW hasta 20 MW. Estos pueden alcanzar rendimientos globales (térmico y eléctrico) que varían entre un 70 y poco más del 80%. Estos motores se caracterizan por ser una máquina de 4 tiempos que opera en ciclo Otto.

La transformación de la energía del combustible en energía eléctrica varía entre un 30 y 40% a través del eje acoplado al motor. El calor recuperable está constituido por intercambiadores de calor que se instalan en el sistema de refrigeración del motor. Los motores requieren 2 sistemas de refrigeración, uno que opera entre los 85 y 99°C y otro que opera entre 70 y 40°C. Estos sistemas enfrían los cilindros del motor, aceite refrigerante y el aire comprimido de entrada. Esta etapa representa alrededor del 30% de la energía suministrada al motor por el combustible.

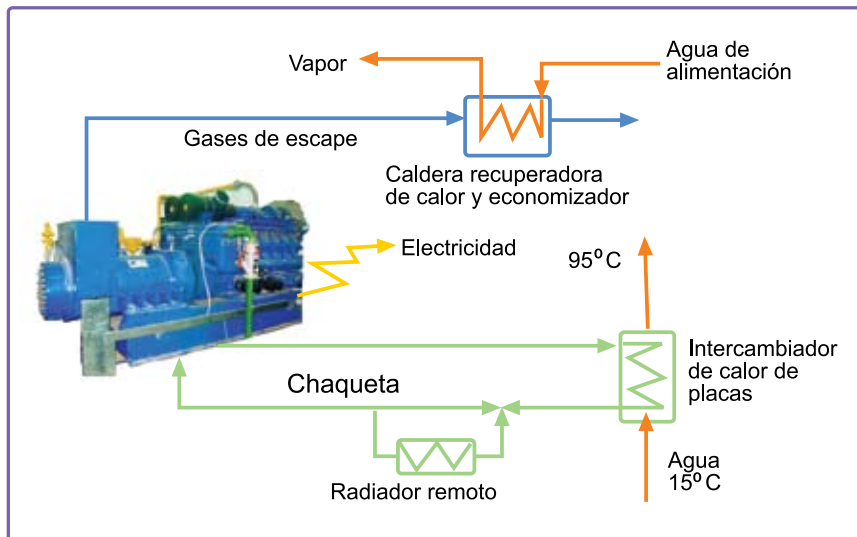
La otra etapa de recuperación de calor la representan los gases de escape producto de la explosión que se lleva a cabo en los cilindros del motor. Estos salen a una temperatura que fluctúa entre los 350 y 550°C y representan entre un 25 y 35% de la energía aportada por el combustible al motor. La Figura 14 muestra un balance energético global de un motor de combustión interna.

Figura 14: Balance energético global de un motor de combustión interna



Otro esquema de aprovechamiento es el que se muestra en la Figura 15, donde se observa la forma de recuperación de la energía del biogás.

Figura 15: Sistema de cogeneración con producción de vapor y agua caliente



Este sistema posee los siguientes elementos:

- Una caldera de recuperación de calor acuotubular. Es acuotubular ya que los gases provenientes de la combustión rodean los tubos por los cuales circula el agua. Esta posee un domo donde se almacena el vapor para luego ser enviado a los consumos a unos 10 bar.
- Un economizador, se denomina así porque sirve para calentar previamente el agua aprovechando el calor contenido en los gases de escape.
- Un radiador remoto que asegura la temperatura de operación del motor.
- El intercambiador de calor por donde pasa el agua caliente del circuito de refrigeración de alta temperatura del motor y otro intercambiador por donde pasa agua, pero de menor temperatura del orden de los 50°C que puede ser utilizado para mantener la temperatura de 35°C de los reactores encargados de la producción del biogás.
- Un ablandador dispositivo por el cual se hace circular el agua para reducir sus impurezas.

- Un estanque de purgas disminuyendo las sales remanentes en el agua, un desgasificador que extrae los gases disueltos en el agua especialmente CO_2 y O_2 .

En relación al rendimiento del motor, en la Tabla 44 se muestran los rendimientos típicos para un motor CAT 352, uno de los más utilizados a nivel europeo, considerando un rendimiento de la caldera de recuperación de un 65% y del intercambiador de calor de un 98%.

Tabla 44: Rendimientos típicos para un motor CAT 3520C

Rendimiento	Motor combustión interna
Eléctrico	38%
Térmico (gases)	20,7%
Térmico (refrigeración)	19,3%

4.1.2 Procedimiento de cálculo de la energía cogenerada a partir de biogás

Para estimar la cantidad de energía que se puede recuperar desde el biogás generado a partir de la materia orgánica de los residuos de diferentes industrias y sectores, se debe considerar los rendimientos de energía térmica y de energía eléctrica, así como también los rendimientos de los equipos de recuperación de calor de los equipos de transferencia de calor que captan la energía disipada del motor en forma de calor.

Para efectos de cálculo, se considera la cantidad anual de biogás generado a partir de la biomasa seca y un poder calorífico de 5.750 kcal/m^3 de biogás ($1.000 \text{ kcal} = 1,163 \text{ kWh}$). A continuación para ilustrar el procedimiento seguido se mostrará como ejemplo la secuencia de cálculo utilizada para calcular la energía generada a partir de los residuos sólidos generados en una industria cervecera (orujo) que se utilizará como modelo. Este calculo corresponde a una industria existente y por tanto son valores aplicables directamente a esta realidad sin consideraciones sobre disponibilidad.

Energía térmica recuperada de los gases del motor de combustión

De los $948.145 \text{ m}^3/\text{año}$ de biogás que son posible de producir, la energía disponible disipada en los gases de combustión es de un 31.8% de la energía aportada por el combustible, la que a su vez pasará por la caldera de recuperación que tiene un rendimiento del 65% entonces:

$$E_{\text{disponible}} = 948.145 \left[\frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{año}} \right] \cdot 5.750 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0,318 \cdot 0,65 = 1.126.894 \left[\frac{\text{Mcal}}{\text{año}} \right]$$

$$E_{\text{disponible}} = 1.311 \left[\frac{\text{MWh}}{\text{año}} \right]$$

Agua de enfriamiento

De los 948.145 m³/año de biogás, la energía disponible en el agua de alta temperatura (90 a 99°C) es de un 19.7 % que pasara por un intercambiador de calor de un rendimiento del 98% entonces:

$$E_{disponible} = 948.145 \left[\frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{año}} \right] \cdot 5.750 \left[\frac{kcal}{m^3} \right] \cdot 0,197 \cdot 0,98 = 1.052.531 \left[\frac{Mcal}{\text{año}} \right]$$

$$E_{disponible} = 1.224 \left[\frac{MWh}{\text{año}} \right]$$

De los 948.145 m³/año de biogás, la energía disponible en el agua de baja temperatura, esto es inferior a 50°C, es de un 10% que también pasará por un intercambiador de calor de rendimiento del 98% entonces:

$$E_{disponible} = 948.145 \left[\frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{año}} \right] \cdot 5.750 \left[\frac{kcal}{m^3} \right] \cdot 0,1 \cdot 0,98 = 534.279 \left[\frac{Mcal}{\text{año}} \right]$$

$$E_{disponible} = 621 \left[\frac{MWh}{\text{año}} \right]$$

Esta energía de baja temperatura se intentará utilizarla para calentar los reactores de producción de biogás que deben estar a unos 35°C. La energía térmica total cogenerada a partir de los sistemas de enfriamiento, será la suma de la energía de ambos sistemas tanto de baja como alta temperatura.

$$E_{disponible} = 621 + 1.224 = 1.845 \left[\frac{MWh}{\text{año}} \right]$$

La energía térmica total cogenerada será la suma de la energía de gases y la energía de agua de enfriamiento de alta temperatura.

$$E_{disponible} = 621 + 1.224 + 1.311 = 3.156 \left[\frac{MWh}{\text{año}} \right]$$

Energía eléctrica recuperada a partir del biogás

La energía eléctrica recuperada del biogás corresponde a un 38% de esta, por lo tanto:

$$E_{disponible} = 948.145 \left[\frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{año}} \right] \cdot 5.750 \left[\frac{kcal}{m^3} \right] \cdot 0,38 = 2.071.696 \left[\frac{Mcal}{\text{año}} \right]$$

$$E_{disponible} = 2.409 \left[\frac{MWh}{\text{año}} \right]$$

De acuerdo a los valores mostrados, la energía eléctrica generada a partir de biogás en este caso es de 2.409 MWh/año. Finalmente la energía total cogenerada a partir de biogás correspondiente a los residuos de biomasa seca, provenientes de esta industria es de 5.565 MWh/año (2.409 MWh/año como energía eléctrica y 3.156 MWh/año como energía térmica).

En los acápites 4.2 y 4.3 se muestran los valores obtenidos para las distintas fuentes de biomasa de acuerdo a la clasificación consignada en los capítulos precedentes.

4.2 Potencial energético a partir de biomasa residual seca y húmeda

Las Figuras 16, 17 y 18 muestran los resultados de las estimaciones de potencial energético total (eléctrico y térmico), separados para biomasa dispersa, agrupada y concentrada con sus valores máximos y mínimos. Los cálculos correspondientes se presentan en los Anexos 4 (potencial energético de la biomasa seca) y 5 (potencial energético de la biomasa húmeda).

La Tabla 45 resume estos valores que son además mostrados en la Figura 19, observándose que es posible obtener una capacidad eléctrica alrededor de 400 MW, y este valor se obtiene fundamentalmente de la biomasa agrupada. La Tabla 46 resume los valores mínimos y máximos disponibles de la capacidad eléctrica instalada para las diferentes biomosas.

Figura 16: Energía total posible de cogenerar a partir de la biomasa dispersa

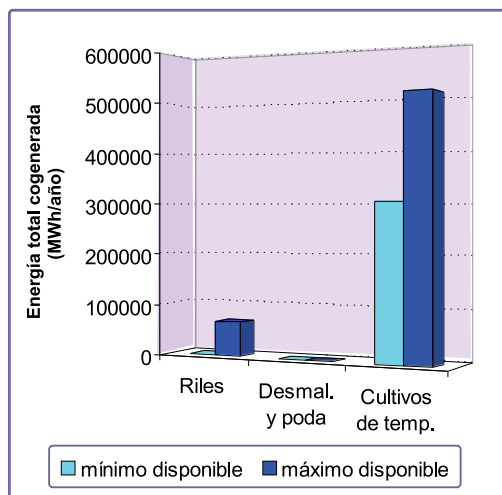


Figura 17: Energía total posible de cogenerar a partir de la biomasa agrupada

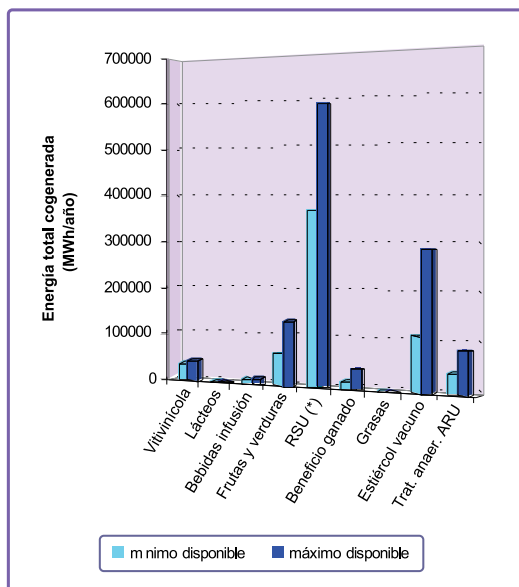


Figura 18: Energía total posible de cogenerar a partir de la biomasa concentrada

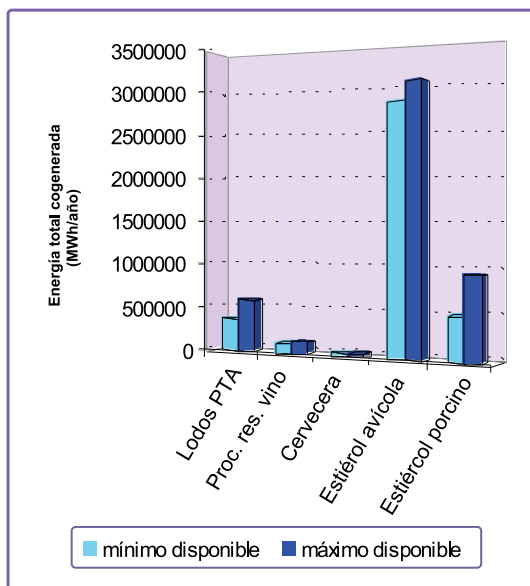


Tabla 45: Resumen de los valores mínimos y máximos disponibles de biogás y energía eléctrica y térmica para las distintas biomásas

Tipo de biomasa			Biomasa total factible a degradacion		Factor conversión a biogás	Disponibilidad biomasa	Biogás		% CH4	Energía total eléctrica		Energía total cogenerada				
							min disponible	máx disponible		min disponible	máx disponible					
			residuo	unidad			ton DQO degradable/año	miles m³/año		miles m³/año	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)		
Dispersa	bh	Riles	147.195	ton DQO/año	95.677	500	m³/ton DQO	0,00	0,27	0	12.916	60%	0	29.349	0	67.844
	bs	Desmal. y poda	1.595	ton res./año	no aplica	270	m³/ton res.	0,10	0,15	43	65	70%	114	171	264	396
	bs	Cultivos de temp.	694.541	ton MO /año	no aplica	200-700	m³/ton MO	0,15	0,25	58.169	96.948	60%	132.174	220.289	305.533	509.222
Agrupada		Agroindustria														
	bs	Vitivinícola	12.152	ton MO/año	no aplica	700	m³/ton MO	0,80	0,95	6.805	8.081	62%	15.978	18.974	36.936	43.861
	bs	Láctea	7.160	ton MO/año	no aplica	500	m³/ton MO	0,05	0,10	179	358	60%	407	813	940	1.880
	bs	Bebidas infusion	7.312	ton MO/año	no aplica	330	m³/ton MO	0,80	0,95	1.930	2.292	60%	4.386	5.209	10.139	12.040
	bs	Frutas y verduras	127.772	ton MO/año	no aplica	510	m³/ton MO	0,20	0,40	13.033	26.065	60%	29.614	59.227	68.455	136.910
	bs	RSU (*)	2.820.372	ton MO/año	no aplica	60	m³/ton MO	0,50	0,80	84.611	135.378	50%	160.215	256.343	370.353	592.565
	bs	Beneficio ganado	69.245	ton MO/año	no aplica	430	m³/ton MO	0,10	0,25	2.978	7.444	65%	7.330	18.324	16.943	42.357
	bs	Grasas	316	ton MO/año	no aplica	430	m³/ton MO	0,00	0,20	0	27	70%	0	72	0	167
	bh	Estiercol vacuno	550.223	ton MO/año	440.178	500	m³/ton DQO	0,10	0,25	22.009	55.022	60%	50.010	125.024	115.603	289.007
	bh	Trat. anaer. ARU	169.370	ton DQO/año	169.370	480	m³/ton DQO	0,10	0,20	8.130	16.260	63%	19.396	38.793	44.837	89.674
Concentrada	bs	Lodos PTA	249.762	ton MO/año	no aplica	550	m³/ton MO	0,50	0,80	68.685	109.895	62%	161.271	258.033	372.794	596.470
		Agroindustria														
	bs	Proc. res. vino	49.218	ton MO/año	no aplica	700	m³/ton MO	0,64	0,76	22.050	26.184	62%	51.772	61.480	119.677	142.117
	bs	Cervecería	12.546	ton MO/año	no aplica	700	m³/ton MO	0,80	0,95	7.026	8.343	63%	16.762	19.905	38.748	46.014
	bs	Estiércol avícola	800.454	ton MO/año	1.200.681	520	m³/ton DQO	0,90	0,97	561.919	605.623	58%	1.234.258	1.330.256	2.863.117	3.075.027
Total	bh	Estiercol porcino	481.730	ton MO/año	385.383	480	m³/ton DQO	0,50	0,95	92.492	175.735	62%	217.170	412.623	502.011	963.822
							950.057	1.286.637			2.100.857	2.854.887	4.856.351	6.599.372		

bs: biomasa seca

bh: biomasa húmeda

Suposiciones y factores de conversión energéticos		
Poder calorífico metano		8.569 kcal/m3
	1000 kcal = 1.163 kWh	
Eficiencia del motor de cogeneración		38%
Energía recuperada de los gases de combustión		31,8%
Rendimiento de la caldera de recuperación		65%
Energía disponible en el agua de alta temp. 90-99 grados		19,7%
Energía disponible en el agua de baja temp. Menor a 50 grados		10%
Rendimiento de los intercambiadores de calor		98%

Tabla 46: Resumen de los valores mínimos y máximos disponibles de la capacidad eléctrica instalada para las distintas biomásas

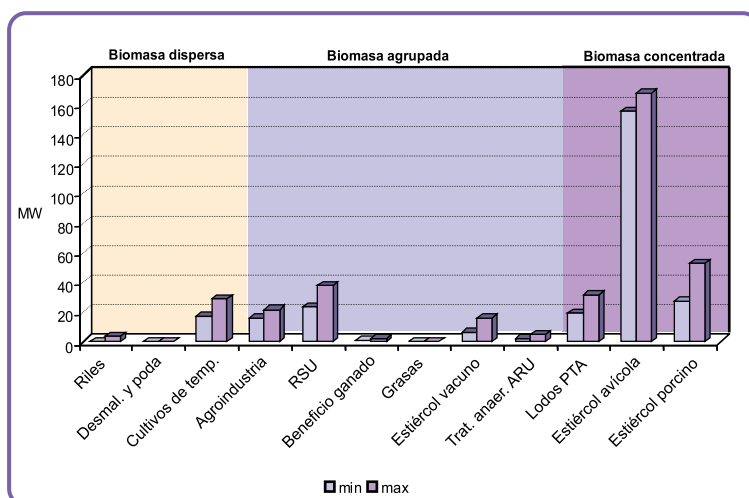
Tipo de biomasa			Energía total eléctrica		Cap. eléc. instalada	
			mín disponible (MWh/año)	máx disponible (MWh/año)	mín disponible MW	máx disponible MW
Dispersa	bh	Riles	0	29.349	0	4
	bs	Desmal. y poda	114	171	0	0
	bs	Cultivos de temp.	132.174	220.289	17	28
Agrupada		Agroindustria				
	bs	Vitivinícola	15.978	18.974	2	2
	bs	Láctea	407	813	0	0
	bs	Bebidas infusión	4.386	5.209	1	1
	bs	Frutas y verduras	29.614	59.227	4	8
	bs	RSU (*)	160.215	256.343	20	33
	bs	Beneficio ganado	7.330	18.324	1	2
	bs	Grasas	0	72	0	0
	bh	Estiercol vacuno	50.010	125.024	6	16
	bh	Trat. anaer. ARU	19.396	38.793	2	5
	bs	Lodos PTA	161.271	258.033	20	33
Concentrada		Agroindustria				
	bs	Proc. res. vino	51.772	61.480	7	8
	bs	Cervecera	16.762	19.905	2	3
	bs	Estiércol avícola	1.234.258	1.330.256	157	169
	bh	Estiércol porcino	217.170	412.623	28	52
Total			2.100.857	2.854.887	266	362

bs: biomasa seca

bh: biomasa húmeda

Nota: La capacidad instalada considera un tiempo de operación de aprox. 7.884 horas/año (90% de disponibilidad)

Figura 19: Potencia eléctrica instalable para las diferentes biomásas



5. Evaluación económica preliminar para proyectos de generación eléctrica a partir de biogás generado por distintas biomásas disponibles

La Tabla 47 muestra algunos valores para los costos específicos de generación calculados para Alemania, según la capacidad eléctrica instalada. En el Anexo 6 se muestra un ejemplo de cálculo para la determinación de los costos de generación. Se tomó el caso del residuo industrial sólido generado en la industria cervecera en el área metropolitana. A continuación se realizará un cálculo preliminar para los siguientes casos particulares:

- Residuos de la industria cervecera: Se tomaron los casos de las Regiones Metropolitana y de la Araucanía, que son las únicas que tienen cantidades apreciables de residuos.
- Estiércol avícola: Siendo este el principal potencial, se calculó para las diferentes escalas de producción que tienen las principales empresas que existen en Chile (45%, 41%, 9% y 5% de la producción).
- Lodos de plantas de tratamiento de aguas urbanas: Se tomaron como casos distintos tamaños de plantas que no poseen digestión anaerobia, dado que las que si lo poseen, sus costos de inversión corresponden sólo a la generación de energía eléctrica.
- Industria procesadora de frutas y verduras: En este caso se tomaron 4 tamaños diferentes representativos de este tipo de industria.

Tabla 47: Costos específicos de generación según capacidad eléctrica instalada

Capacidad MWe	Costos específicos US\$/kWe	Costos de generación US\$/kWe	Costos de generación \$/kWe
6,0	1616	0,038	20,15
5,0	1772	0,041	21,88
4,0	1984	0,046	24,23
3,0	2297	0,052	27,68
2,0	2828	0,064	33,53
1,0	4047	0,089	47,01
0,5	5813	0,126	66,79

Los costos de operación pueden estimarse independiente del proceso y dependiente del tamaño del generador. En los cálculos realizados para los cuatro ejemplos anteriormente mencionados, se estimó un horizonte de evaluación de 15 años con una tasa de interés

del 10%. Además, se realizó una estimación de costos de generación por kWh sin tomar en cuenta los costos de inversión para el tratamiento de los residuos, es decir, considerando sólo los costos adicionales asociados única y exclusivamente a la generación de energía. Debido a la obligación para muchas industrias de implementar sistemas de tratamiento de sus residuos, los costos de los sistemas de tratamiento pueden, eventualmente, asumirse como costos asociados al cumplimiento de la reglamentación ambiental más que a costos de inversión para generación energética y de calor.

Para realizar los cálculos en el caso sin el costo del tratamiento de los residuos, se consideró en la inversión inicial sólo el costo asociado a los generadores y la conexión a la red. De esta forma al costo total de inversión inicial fueron restados los costos asociados a la transformación de la biomasa hasta biogás, etapa que como ya se mencionó, es considerada para cumplir con la normativa ambiental. Si bien se podría argumentar que los sistemas de tratamiento de residuos podrían no ser sistemas de digestión anaerobia, se asume que, para eliminar una gran cantidad de materia orgánica, el sistema anaerobio es, generalmente, el más conveniente.

La Tabla 48 muestra el tamaño y número de generadores según la cantidad de residuos sólidos generados por la industria cervecera en las Regiones Metropolitana y de la Araucanía.

Tabla 48: Determinación del tamaño y número de generadores de acuerdo a la cantidad de residuos sólidos generados por la industria cervecera en las Regiones Metropolitana y de la Araucanía

Región	RIS ton/año	Biogás útil en miles m ³	Tamaño generador MW	Número generadores
RM	50.000	30.000	4	2
IX	20.000	11.000	2	1

De acuerdo a lo señalado en la Tabla 48, una planta que genera 30 millones de m³/año produce una cantidad total de energía de 165 GWh/año, considerando un poder calorífico del biogás de 5,5 kWh/m³. Considerando también una eficiencia eléctrica de 39 % y 7.884 horas de operación, ésto representa una capacidad a instalar de 8.162 kW. Tomando modelos de generadores disponibles en el mercado, se opta por dos generadores de 4.000 kWe lo cual implica un costo de inversión de US\$ 7.936.907, tal como se muestra, a modo de ejemplo, en la Tabla 49. En base a esta información, la Tabla 50 muestra los costos específicos por kWe de potencia instalada para una planta de cogeneración para los residuos sólidos generados por la industria cervecera. La Figura 20 compara estos valores con los calculados sin considerar los costos asociados al tratamiento.

Tabla 49: Determinación del costo de inversion para una planta de cogeneración de 4 MW para los residuos sólidos generados por la industria cervecera en la Región Metropolitana

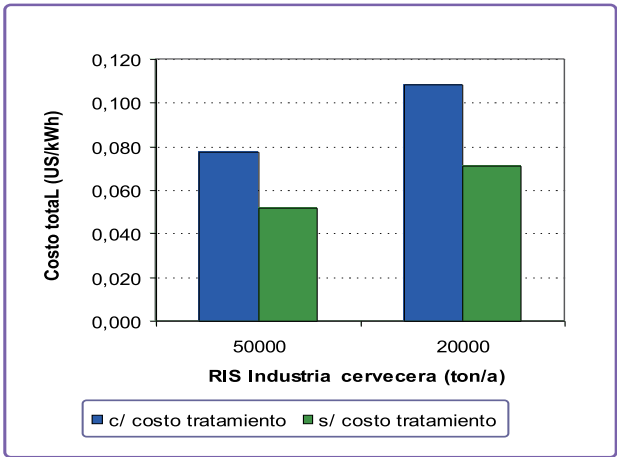
Costos		
Costos específicos de inversión		
- Motor de cogeneración	US\$/kWe	345
- Digestores (incl. control, mezcladores etc.)	US\$/kWe	2.000
- Conexión a la red	US\$	10.000
Costos del motor	US\$	1.379.048
Costos del digestor y resto de la planta	US\$	5.464.161
Otros (edificio etc.)	US\$	342.160
Costos de conexión a red de calor	US\$	20.000
Costos de inversión	US\$	7.215.369
Costos de planificación/permisos etc. 0,1% de costos de inversión	US\$	721.537
Inversión total	US\$	7.936.907

Tabla 50: Determinación de los costos específicos por kWe de potencia instalada para una planta de cogeneración para los residuos sólidos generados por la industria cervecera en la Región Metropolitana

Residuo industrial sólido	Costos específicos de inversión (*)	Costos específicos de inversión (**)	Costos de inversión anualizados (*)	Costos de operación	Costos totales	Costos de generación eléctrica (*)	Costos de generación eléctrica (**)
ton/año	US\$/kWe(*)	US\$/kWe(**)	US\$/kWe	US\$/kWe	US\$/kWe	US\$/kWh	US\$/kWh
50.000	1.984	382	261	381	642	0,08	0,052
20.000	2.828	483	372	527	899	0,11	0,071

(*) se consideran todos los costos de inversión
(**) no se consideran los costos de tratamiento

Figura 20: Variación del costo por kWh en función de las toneladas anuales de RIS generados por la industria cervecera



En las Figuras 21, 22 y 23 se presenta la variación del costo total por kWh generado en función del tamaño de la planta para los casos de residuos de la agroindustria, para la industria avícola y para los lodos provenientes de PTAS. En estas figuras al igual que en el caso de la industria cervecera se comparan los costos específicos con y sin considerar el tratamiento de los residuos.

Figura 21: Variación del costo por kWh en función de las toneladas anuales de RIS generados por la agroindustria

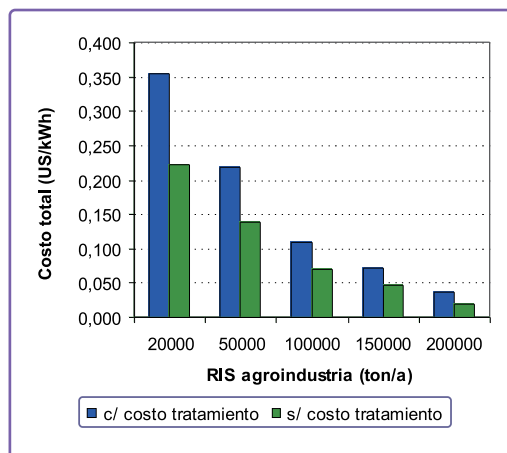


Figura 22: Variación del costo por kWh generado a partir de los residuos generados por la industria avícola en función del número de aves

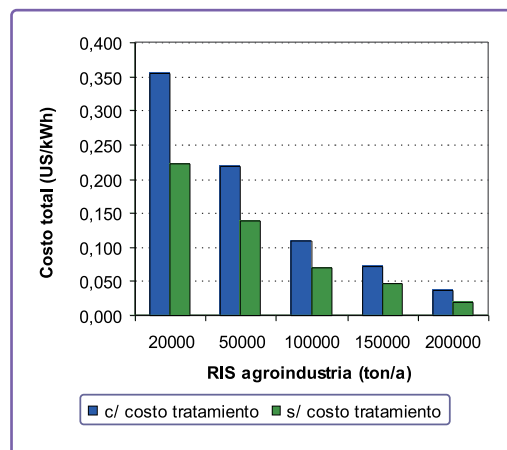
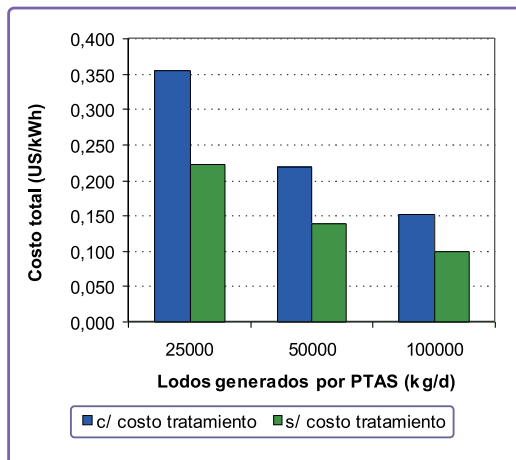


Figura 23: Variación del costo por kWh en función de los lodos diarios generados por PTAS



6. Conclusiones

De los datos consignados en los capítulos precedentes, se concluye que es factible la transformación de biomasa en metano como fuente de energía renovable no convencional. Se estima que el potencial técnicamente implementable en la actualidad es de aproximadamente 400 MW de capacidad instalable para generación eléctrica lo que significa alrededor del 3,5% de la capacidad actual del país. Además, en sistemas de cogeneración sería posible obtener energía térmica que, de ser utilizada, aumentaría en alrededor de un 100% la energía aprovechada. A medida que los precios de la energía en los mercados nacionales e internacionales aumentan, el potencial factible también aumentará.

Las cifras anteriores probablemente son una estimación conservadora del potencial de generación de biogás en Chile, debido a las restricciones aplicadas en este estudio a la disponibilidad de biomasa.

Del potencial señalado, los mayores valores corresponden a biomásas que están concentradas, con lo cual se facilita su utilización.

Por otro lado, existe un potencial directo de aproximadamente 150 MW para generación eléctrica correspondiente a la producción de metano a través de reactores ya existentes de riles, de lodos y purines y de vertederos con captación de biogás. Además, para varias industrias que deben tratar sus riles, la biodigestión es una alternativa económicamente interesante que les permitiría contar con biogás para autoabastecimiento energético y/o venta de electricidad y/o calor.

De la evaluación preliminar se obtienen valores relativamente competitivos para la energía generada. Además, en el caso de las empresas que deben instalar plantas de tratamiento de residuos para cumplir con la normativa ambiental, el costo asociado a la generación de energía se reduce considerablemente. Esto último se aprecia en las Figuras 20 a 23 en donde el costo de generación disminuye un 30% en promedio con respecto al caso base, es decir, cuando no se requiere a priori el tratamiento del residuo.

Los costos estimados para la energía generada en los casos mostrados en el capítulo 5 de este estudio (y ejemplificado en el Anexo 6) varían entre 25 y 350 US\$ por MWh, destacándose que existen un número interesante de alternativas evaluadas que se encuentran por debajo de los costos actuales de desarrollo del sector generación eléctrica en Chile.

Los resultados muestran también que la utilización de la energía térmica cogenerada a partir de biogás puede representar un ahorro de combustible importante para las industrias que realicen este tipo de proyectos, lo que se puede traducir en una reducción de sus costos, así como en una mayor independencia energética de la industria.

Glosario

ASOHUEVO	Asociación gremial de productores de huevos de Chile
ARU	Aguas residuales urbanas
AS	Autorización Sanitaria
BM	Biometanización
CB	Captación de biogás
CCU	Compañía Cervecerías Unidas
CIU	Clasificación Industrial Internacional Uniforme
CH ₄	Metano
CNE	Comisión Nacional de Energía
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Comisión Nacional de Medio Ambiente
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
D.A.	Digestión Anaerobia
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DSM	DSM Food Specialties
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EPA	Environmental Protection Agency
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
FAO	Food and Agricultural Organisation
GAC	Guano de ave para carne
GEI	Gases de efecto invernadero
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (Cooperación técnica alemana)
HL	Hectólitro
INFOR	Instituto Nacional Forestal
INE	Instituto Nacional de Estadística
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
INTEC	Instituto Tecnológico de Chile
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MINSAL	Ministerio de Salud
M.O.	Materia Orgánica
MW	Megavatio
MWh	Megavatio hora
Nm ³	Metro cúbico normado
ODEPA	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
OMS	Organización Mundial de Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PIB	Producto Interno Bruto
PTA	Planta de Tratamiento de Aguas

PTAS	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas
PUCV	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
RIL	Residuo Industrial Líquido
RIS	Residuo Industrial Sólido
RM	Región Metropolitana
RS	Relleno Sanitario
RSD	Residuos Sólidos Domésticos
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SERPLAC	Secretaría Regional de Planificación y Coordinación
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SV	Sólidos Volátiles

